

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2019年5月23日(23.05.2019)



(10) 国際公開番号

WO 2019/098280 A1

(51) 国際特許分類:

G01S 13/90 (2006.01) G06T 7/00 (2017.01)

G01F 23/284 (2006.01) G06T 7/70 (2017.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2018/042302

(22) 国際出願日: 2018年11月15日(15.11.2018)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:

特願 2017-220082 2017年11月15日(15.11.2017) JP

(71) 出願人: 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 (JAPAN AEROSPACE EXPLORATION

AGENCY) [JP/JP]; 〒1828522 東京都調布市深大寺東町七丁目4 4 番地 1 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 穴原 琢摩 (ANAHARA Takuma); 〒1828522 東京都調布市深大寺東町七丁目4 4 番地 1 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 田中 伸一郎, 外 (TANAKA Shinichiro et al.); 〒1008355 東京都千代田区丸の内 3 丁目 3 番 1 号 新東京ビル 中村合同特許法律事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,

(54) Title: SYSTEM, METHOD, AND PROGRAM FOR ESTIMATING POSITION OR CHANGE IN POSITION OF RIGHT-ANGLED STRUCTURE OF STRUCTURE, AND STORAGE MEDIUM STORING PROGRAM

(54) 発明の名称: 構造物における直角構造の位置又は位置の変化量を推定するためのシステム、方法、プログラム、及びプログラムを記録した記録媒体

FIG.4

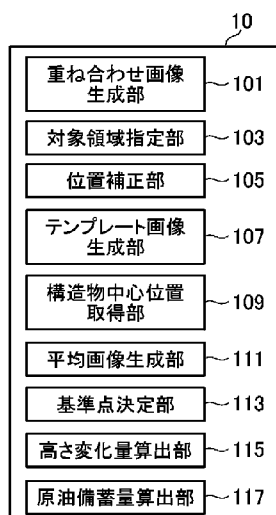


Fig. 4

101 Superimposed image generation unit  
103 Target region designation unit  
105 Position correction unit  
107 Template image generation unit  
109 Structure center position acquisition unit  
111 Average image generation unit  
113 Reference point determination unit  
115 Height change calculation unit  
117 Crude oil stock calculation unit

(57) Abstract: A system, method, and program that, for a structure that has a right-angled structure in which a first section that has a horizontal-direction surface or a surface that is inclined at exactly a prescribed angle from the horizontal direction and a second section that has a vertical-direction surface or a surface that is inclined exactly the prescribed angle from

DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第21条(3))

the vertical direction form orthogonal surfaces, make it possible to find the position or the change in position of the first section in a first direction that is orthogonal to the horizontal-direction surface or the surface that is inclined exactly the prescribed angle from the horizontal direction, e.g., the height or the change in height of the floating roof of a floating roof tank; and a storage medium that stores the program. The system, method, and program are for estimating the position or the change in position of the right-angled structure of the structure using an SAR intensity image of the structure, without the need to frequently collect a large quantity of high-resolution SAR images, and without the need to create 3D data.

(57) 要約: 浮き屋根式タンクの浮き屋根の高さ又は高さの変化量を例とする水平方向の面又は水平方向から所定の角度だけ傾斜した面を有する第1の部分と、鉛直方向の面又は鉛直方向から前記所定の角度だけ傾斜した面を有する第2の部分が直交面を形成する直角構造を有する構造物における、前記水平方向の面又は水平方向から所定の角度だけ傾斜した面に垂直な方向である第1の方向の第1の部分の位置又は位置の変化量を求めることができるシステム、方法、プログラム、及びプログラムを記録した記録媒体であって、構造物のSAR強度画像を用いて、高分解能のSAR画像を大量に高頻度で集める必要がなく、3Dデータの作成の必要がない、構造物における直角構造の位置又は位置の変化量を推定するためのシステム、方法、プログラム、及びプログラムを記録した記録媒体。

## 明 細 書

発明の名称：

構造物における直角構造の位置又は位置の変化量を推定するためのシステム、方法、プログラム、及びプログラムを記録した記録媒体

### 技術分野

[0001] 本発明は、構造物における直角構造の位置又は位置の変化量を推定するためのシステム、方法、プログラム、及びプログラムを記録した記録媒体、より詳細には、水平方向の面又は水平方向から所定の角度だけ傾斜した面を有する第1の部分と、鉛直方向の面又は鉛直方向から前記所定の角度だけ傾斜した面を有する第2の部分が直交面を形成する直角構造を有する構造物における、前記水平方向の面又は水平方向から所定の角度だけ傾斜した面に垂直な方向である第1の方向の第1の部分の位置又は位置の変化量を推定するためのシステム、方法、プログラム、及びプログラムを記録した記録媒体に関する。

### 背景技術

[0002] 浮き屋根式の原油タンクの原油備蓄量を合成開口レーダ（以下、「SAR」ともいう。）により推定する手法が提案されている（下記特許文献1）。この手法においては、高分解能SARを用いて、画像データからの多方向観測によりタンクの3Dデータを作成し、浮き屋根の高さを算出することにより、原油備蓄量を求める。

### 先行技術文献

### 特許文献

[0003] 特許文献1：米国特許出願公開第2016/0343124号明細書

### 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、上記手法は、高分解能のSAR画像を大量に高頻度で集め

るのは難しいこと、高分解能SARが高価であること、画像データからの多方向観測によりタンクの3Dデータを作成する必要があるといった問題点がある。

[0005] そこで、本発明は、高分解能のSAR画像を大量に高頻度で集める必要がなく、3Dデータの作成の必要がない、浮き屋根式タンクの浮き屋根の高さ又は高さの変化量を例とする、水平方向の面又は水平方向から所定の角度だけ傾斜した面を有する第1の部分と、鉛直方向の面又は鉛直方向から前記所定の角度だけ傾斜した面を有する第2の部分が直交面を形成する直角構造を有する構造物における、前記水平方向の面又は水平方向から所定の角度だけ傾斜した面に垂直な方向である第1の方向の第1の部分の位置又は位置の変化量を求めることができるシステム、方法、プログラム、及びプログラムを記録した記録媒体を提供することを目的の1つとする。

### 課題を解決するための手段

[0006] 本発明の1つの態様は、対象領域内に存在する、複数の、同一の構造を有する構造物であって、水平方向の面又は水平方向から所定の角度だけ傾斜した面を有する第1の部分と、鉛直方向の面又は鉛直方向から前記所定の角度だけ傾斜した面を有する第2の部分が直交面を形成する直角構造を有する構造物における、前記水平方向の面又は水平方向から所定の角度だけ傾斜した面に垂直な方向である第1の方向の前記第1の部分の位置の変化量を推定する位置変化量推定システムであって、複数の時期の、対象領域を含むSAR強度画像を、同じ位置の地点が一致するように重ね合わせた、重ね合わせ画像を生成する重ね合わせ画像生成部と、前記重ね合わせ画像に対して、前記複数の前記構造物の各々の中心を取得する構造物中心位置取得部と、前記複数の前記構造物のうちの所望の前記構造物のSAR強度画像について、複数の時期のSAR強度画像に対して強度について平均をとり、平均画像を生成する平均画像生成部と、前記平均画像において、1つの構造物のSAR強度画像における強度が最大となる点を通るレンジ方向の直線である中心線上で、前記所望の前記構造物の前記中心よりも合成開口レーダから遠い側におい

て強度が最大となる点である基準点を求める基準点決定部と、所望の時期の前記構造物のSAR強度画像における中心線上で、前記所望の前記構造物の前記中心よりも合成開口レーダから遠い側において強度が最大となる点である遠方側強度最大点を求め、その点と前記基準点との距離に基づいて、前記であって、第1の部分の前記第1の方向の位置の変化量を求める位置変化量算出部とを含むシステムを提供するものである。

[0007] 本明細書及び特許請求の範囲において、「水平」は、完全な水平のみならず、略水平も含んだ概念を意味する。

### 発明の効果

[0008] 上記構成を有する本発明によれば、安価なL-band SARやScanSARモード等の広域低分解能観測モードを用いることができるので、高分解能のSAR画像を大量に高頻度で集める必要がなく、3Dデータの作成の必要がない、浮き屋根式タンクの浮き屋根の高さ又は高さの変化量を例とする水平方向の面又は水平方向から所定の角度だけ傾斜した面を有する第1の部分と、鉛直方向の面又は鉛直方向から前記所定の角度だけ傾斜した面を有する第2の部分が直交面を形成する直角構造を有する構造物における、前記水平方向の面又は水平方向から所定の角度だけ傾斜した面に垂直な方向である第1の方向の第1の部分の位置又は位置の変化量を求めることができるシステム、方法、プログラム、及びプログラムを記録した記録媒体を提供することができる。

### 図面の簡単な説明

[0009] [図1]浮き屋根式タンクの斜視模式図である。

[図2]図1のII-II断面図である。

[図3]本発明の第1の実施形態の原理を示す図である。

[図4]本発明の第1の実施形態に係る高さ変化量推定システムの機能構成を示す図である。

[図5]本発明の第1の実施形態に係る高さ変化量推定システムのハードウェア構成の例を示す図である。

[図6A]本発明の第1の実施形態に係る高さ変化量推定処理の一例のフローチャートである。

[図6B]本発明の第1の実施形態に係る高さ変化量推定処理の一例のフローチャートである。

[図6C]本発明の第1の実施形態に係る高さ変化量推定処理の一例のフローチャートである。

[図7]重ね合わせ画像と切り出したタンクの画像の例を示す図である。

[図8]タンクの位置を一致させるための処理の基礎となる原理を示す図である。

[図9]アジマス方向の位置補正を説明する図である。

[図10]レンジ方向の位置補正を説明する図である。

[図11]テンプレート画像の例を示す図である。

[図12]重ね合わせ画像に対する尤度の算出結果の例を示す図である。

[図13]求められた各タンクの中心の例を示す図である。

[図14]生成されたタンクの平均画像における中心線上の強度分布を示す図である。

[図15]基準点と探索範囲の例を示す図である。

[図16]遠方側強度最大点の探索と基準点との関係を説明する図である。

[図17]本発明の第2の実施形態の原理を示す図である。

[図18]本発明の第2の実施形態に係る高さ変化量推定システムの機能構成を示す図である。

[図19]本発明の第2の実施形態に係る高さ変化量推定処理の一例のフローチャートである。

[図20]本発明の第3の実施形態の原理を示す図である。

[図21]本発明の第3の実施形態に係る高さ変化量推定システムの機能構成を示す図である。

[図22]本発明の第3の実施形態に係る高さ変化量推定処理の一例のフローチャートである。

[図23]浮き屋根の高さの実測値とSAR強度画像における遠方側強度最大点の強度の関係の例を示す図である。

[図24]ある時期の広域低分解能観測モードのSAR強度画像の例を示す図である。

[図25]複数の時期の広域低分解能観測モードのSAR強度画像の重ね合わせ画像の例を示す図である。

[図26]あるタンクの、広域低分解能観測モードのSAR強度画像と高分解能観測モードのSAR強度画像の例を示す図である。

[図27]本発明の第4の実施形態に係る高さ変化量推定処理の一例のフローチャートである。

### 発明を実施するための形態

[0010] 以下、本発明の実施形態について図面を参照して説明する。

[0011] (第1の実施形態)

まず、本発明の第1の実施形態の原理について説明する。原油タンクとして一般的な浮き屋根式タンクを例として説明する。図1は、浮き屋根式タンクの斜視模式図である。図2は、図1のII-II断面図である。浮き屋根式タンク1は、有底円筒状の容器部2と、容器部2に接する円板状の浮き屋根3を備える。容器部2には原油4が収容され、原油4上に浮き屋根3が直接浮かぶ構造を有している。よって、浮き屋根式タンク1は、容器部2の側壁(第2の部分)と浮き屋根3(第1の部分)のなす角度が直角となる直角構造を有する。また、浮き屋根3は、容器部2に収容された原油4の量によって、鉛直方向に上下に移動する。すなわち、浮き屋根3の高さが、容器部2に収容された原油4の量に比例する。

[0012] 図3は、本発明の第1の実施形態の原理を示す図である。SAR強度画像は、合成開口レーダSから観測対象点へと送出された電磁波が、観測対象点から反射されて戻ってくるまでの時間(距離)を画像上に表示するものである。よって、観測対象点に高さがある場合、SAR強度画像上では、観測対象点は、実際の位置よりも合成開口レーダS側に表示される。具体的には、

合成開口レーダSから観測対象点までの距離を半径とする円周と地表面との交点の位置に表示される。これを図3についてみると、浮き屋根3と容器部2の接点P、P'は、実際の位置Q、Q'よりもSAR側の位置R、R'に表示される。

[0013] 合成開口レーダSから観測対象点（浮き屋根3と容器部2の接点）P、P'までの距離が十分大きい場合は、線分SPと線分PR、線分S'P'と線分P'R'はそれぞれ直交し、電磁波の入射角は等しいと見なせるから、観測対象点P、P'の高さ（線分PQ、線分P'Q'の大きさ）をh、h'、線分RQ、線分R'Q'の大きさをd、d'とすると、観測対象点の高さの変化量 $h - h'$ は、

$$h - h' = d \tan \theta - d' \tan \theta' \doteq (d - d') \tan \theta \cdots (1)$$

と求めることができる。

[0014] 図4は、本発明の第1の実施形態に係る高さ変化量推定システムの機能構成を示す図である。

[0015] 高さ変化量推定システム10は、重ね合わせ画像生成部101、対象領域指定部103、位置補正部105、テンプレート画像生成部107、構造物中心位置取得部109、平均画像生成部111、基準点決定部113、高さ変化量算出部115、原油備蓄量算出部117を備える。

[0016] 重ね合わせ画像生成部101は、重ね合わせ画像生成部101に入力された、複数の時期の、対象領域を含むSAR強度画像を、同じ位置の地点が一致するように重ね合わせた、重ね合わせ画像を生成する。

[0017] 対象領域指定部103は、重ね合わせ画像において解析対象領域を指定する。

[0018] 位置補正部105は、重ね合わせ画像における対象領域から切り出された複数の構造物の画像の各々について、強度が最大となる点を通るレンジ方向の直線を中心線とし、アジマス方向については、中心線が互いに重なるように、切り出された複数の構造物の画像を移動させ、レンジ方向については、中心線上の強度分布がマッチングする位置まで、切り出された複数の構造物

の画像を互いに移動させてその位置を一致させる。

[0019] テンプレート画像生成部 107 は、互いの位置が一致された切り出された複数の構造物の画像を重ね合わせてテンプレート画像を生成する。

[0020] 構造物中心位置取得部 109 は、重ね合わせ画像に対して、複数の構造物の各々の中心位置を取得する。各構造物の中心位置は、テンプレート画像を用いてテンプレートマッチングを行うことにより求めることができる。また、各構造物の位置が既に分かっている場合は、その値を取得してもよい。

[0021] 平均画像生成部 111 は、複数の構造物のうちの所望の構造物の SAR 強度画像について、複数の時期の SAR 強度画像に対して強度について平均をとり、平均画像を生成する。

[0022] 基準点決定部 113 は、生成された平均画像において、1つの構造物の SAR 強度画像における強度が最大となる点を通るレンジ方向の直線である中心線上で、所望の構造物の中心位置よりも合成開口レーダから遠い側において強度が最大となる点である基準点を求める。

[0023] 高さ変化量算出部 115（位置変化量算出部）は、所望の時期の構造物の SAR 強度画像における中心線上で、所望の構造物の中心位置よりも合成開口レーダから遠い側において強度が最大となる点である遠方側強度最大点を求め、その遠方側強度最大点と基準点との距離に基づいて、水平部（第1の部分）の高さ（第1の方向の位置）の変化量を求める。

[0024] 原油備蓄量算出部 117 は、求めた屋根部の高さの変化量と原油備蓄用タンクの底面積を乗じることにより、各タンクの原油の備蓄量の変化量を求める。また、各タンクの原油の備蓄量の変化量の総和を求めることにより、原油備蓄基地全体の原油の備蓄量の変化量を求める。

[0025] 図5は、本実施形態に係る高さ変化量推定システム1のハードウェア構成の例を示す図である。高さ変化量推定システム1は、CPU130a、RAM130b、ROM130c、外部メモリ130d、入力部130e、出力部130f、通信部130gを含む。RAM130b、ROM130c、外部メモリ130d、入力部130e、出力部130f、通信部130gは、

システムバス 130h を介して、CPU 130a に接続されている。

[0026] 高さ変化量推定システム 1 の各部は、ROM や外部メモリ に記憶された各種プログラムが、CPU、RAM、ROM、外部メモリ、入力部、出力部、通信部等を資源として使用することで実現される。

[0027] 以上のシステム構成を前提に、本発明の第 1 の実施形態に係る高さ変化量推定システムの高さ変化量推定処理の例を、図 6A ～図 16 等を参照して、以下に説明する。本実施形態では、上記で説明したタンクが行列状に設置された原油備蓄基地の SAR 強度画像を例として説明する。

[0028] 図 6A ～図 6B は、本発明の第 1 の実施形態にかかる高さ変化量推定処理の一例のフローチャートである。

[0029] まず、複数の時期の原油備蓄基地 5 の SAR 強度画像が重ね合わせ画像生成部 101 に入力され、重ね合わせ画像生成部 101 は、複数の時期の原油備蓄基地 5 の SAR 強度画像を、同じ位置の地点が一致するように重ね合わせた重ね合わせ画像 500 を生成する (S101)。同じ位置の地点が一致するように重ね合わせる手法は、干渉 SAR 解析技術等において周知であるので、詳しい説明は省略する。本実施形態では、重ね合わせ画像 500 の各画素の強度が、複数の時期の SAR 強度画像の対応する画素の強度のうちの最小値となるように重ね合わせが行われる。これにより、個々の SAR 強度画像で発生しているノイズを低減することができる。得られた重ね合わせ画像の例を図 7 に示す。

[0030] 続いて、対象領域指定部 103 は、重ね合わせ画像 500 における解析対象領域 501 を指定する (S103)。解析対象領域の指定は、人間が重ね合わせ画像 500 上で領域を指定することによって行われてもよいし、例えば、タンクの位置情報が既に分かっている場合には、その位置情報に基づいてコンピュータにより行われてもよい。本実施形態では、原油備蓄基地 5 が解析対象領域として指定されている。

[0031] 次に、タンク 1 の中心位置をテンプレートマッチングにより求めるために用いるテンプレート画像を生成する。まず、重ね合わせ画像 500 における

解析対象領域内の適切な複数のタンクの画像を切り出す（S105）。本実施形態では、直交する辺の方向が、アジマス方向とレンジ方向となるような正方形の画像に切り出すが、切り出す画像の形状はこれに限定されるものではなく、任意の適切な形状とすることができる。タンク1の画像の切り出しは、人間が重ね合わせ画像500上で領域を指定することによって行われてもよいし、例えば、タンク1の中心位置等の位置情報が既に分かっている場合には、その位置情報に基づいてコンピュータにより行われてもよい。切り出した画像の例を図7に示す。

[0032] 図7から分かるように、切り出した画像内で、タンクAとタンクBの位置がずれている。そこで、タンクAとタンクBの位置を一致させるために、以下の処理を行うが、ここで、その処理に用いる原理について説明する。なお、図7の例は、理解の容易のために、タンクAとタンクBの位置のずれを強調しているが、実際は、タンクAとタンクBの位置のずれはわずかである。

[0033] 図8は、タンクの位置を一致させるための処理の基礎となる原理を示す図である。合成開口レーダにおいて、観測対象物から反射された電磁波の強度は、観測対象物の、その接平面がレンジ方向と直交する部分から反射された電磁波の強度が、他の部分よりも大きく観測される。本実施形態のタンク1は、円筒形状を有しているので、タンク1の側壁2aの、タンク1の中心位置を通るレンジ方向の直線Lとタンクの底面の円周との交点W、Qを通り、鉛直方向に延びる部分からの反射波の強度が、他の部分よりも大きく観測される。したがって、タンクA、タンクBの画像のそれぞれにおける強度が最大となる点を通るレンジ方向の直線を中心線として、互いの中心線が重なり合うように互いを移動すれば、アジマス方向については、その位置が一致する。

[0034] 位置補正部105は、以下の処理を行う。図9は、アジマス方向の位置補正を説明する図である。まず、図9に示すように、レンジ方向の各画像ラインについて強度の最大値を求め、強度最大値のアジマス方向の分布を求める（S107）。そして、強度最大値のアジマス方向の分布において最大値を

とる画像ラインを中心線として、互いの中心線が重なり合うように互いを移動させる（S 1 0 9）。中心線の求め方はこれに限定されるものではなく、例えば各タンクの画像における強度が最大となる点を求めて、その点を通るレンジ方向の直線を中心線としてもよい。

[0035] 続いて、各タンクのレンジ方向の位置を一致させる。図 1 0 は、レンジ方向の位置補正を説明する図である。まず各タンクについて求められた中心線の画像ライン上の強度分布を求める。例えば、タンク A、タンク B の強度分布は図 1 0 のようになる。この各タンクの中心線上の強度分布がマッチングする位置まで、各タンクの画像を互いに移動させる。具体的には、特定のタンク（タンク A）に対して他のタンク（タンク B）の位置を変えながらコンボリューションの値を求め、コンボリューションの値が最大となる位置に他のタンク（タンク B）を移動させる（S 1 1 1）。マッチング手法としては、上述のようなコンボリューションの値に基づくものに限定されるものではなく、例えば、最大強度をとる位置が一致するように他のタンク（タンク B）を移動させる等、他の任意の適切な手法を用いることができる。

[0036] テンプレート画像生成部 1 0 7 は、このようにして互いの位置が一致されたタンクの画像を重ね合わせて、テンプレート画像 5 0 3 を生成する（S 1 1 3）。本実施形態では、テンプレート画像 5 0 3 の各画素の強度が、複数タンクの画像の対応する画素の強度のうちの最小値となるように重ね合わせが行われる。これにより、個々のタンクの画像で発生しているノイズを低減することができる。得られる重ね合わせ画像の例を図 1 1 に示す。タンクの画像の重ね合わせ手法は、これに限定されるものでなく、例えば、テンプレート画像 5 0 3 の各画素の強度が、複数タンクの画像の対応する画素の強度の平均値となるように重ね合わせを行ってもよい。

[0037] ここで、テンプレート画像 5 0 3 の中心位置は、アジマス方向については、求められた中心線上にある。一方、レンジ方向の中心位置は、上述のようにタンク A とタンク B の位置のずれはわずかであるから、画像切り出し時や既知の位置としてタンク A の中心が指定されたような場合は、そのタンク A

の指定位置としてもよい。また、上述のタンク A に対する複数のタンク B の位置のマッチングにおけるタンク B の位置のずれ量（タンク B の移動量）の平均だけ、タンク A の指定位置から減じた位置としてもよい。

[0038] 続いて、構造物中心位置取得部 109 は、重ね合わせ画像 500 における各タンクの中心位置を、生成したテンプレート画像 503 を用いてテンプレートマッチングを行うことにより求める。テンプレートマッチングに用いるテンプレート画像は、上記のような手法により生成されるものに限定されるものではなく、任意の手法で予め用意されていればよい。例えば、重ね合わせ画像 500 から適切なタンクの画像を人間が選択してもよい。具体的には、重ね合わせ画像 500 に対してテンプレート画像 503 の位置を変えながらコンボリューションの値（尤度）を求める（S115）。図12は、重ね合わせ画像 500 に対する尤度の算出結果の例を示す図である。この尤度に対して、適切な閾値により二値化を行い、二値化により 1 の値となった箇所について、モルフォロジー処理による複数検出箇所の統合を行い、統合された各箇所について、尤度が最大となる点を各タンクの中心位置として求める（S117）。図13は、求められた各タンクの中心位置の例を示す図である。各タンクの中心位置は、各タンクの位置が既に分かっている場合は、その値を取得してもよいし、更に、その値のテンプレート画像を用意して、微修正を行ってもよい。

[0039] 次に、平均画像生成部 111 は、各タンクの SAR 強度画像について、複数の時期の SAR 強度画像に対して強度について平均をとり、平均画像を生成する（S119）。

[0040] 図14は、生成されたタンクの平均画像における中心線上の強度分布を示す図である。基準点決定部 113 は、生成された各タンクの平均画像において、中心線上で、上記ステップで求めた各タンクの中心位置よりも、合成開口レーダから遠い側において強度が最大となる点である基準点を求める（S121）。

[0041] そして、高さ変化量算出部 115 は、各タンク 1 の各時期の SAR 強度画

像における中心線上で、各タンクの中心位置よりも合成開口レーダから遠い側において強度が最大となる点である遠方側強度最大点を求め、その遠方側強度最大点と上で求めた基準点との距離に基づいて、浮き屋根 3 の高さの変化量を求める。具体的には、まず、基準点に対して遠方側強度最大点の探索範囲を設定する。図 15 に、基準点と探索範囲の例を示す。そして、その探索範囲内で、各タンクの中心位置よりも合成開口レーダから遠い側において強度が最大となる点である遠方側強度最大点を求める (S 1 2 3)。図 16 に、遠方側強度最大点の探索と基準点との関係を説明する図を示す。そして、基準点から遠方側強度最大点までの画素数を求める (S 1 2 5)。基準点から遠方側強度最大点までの距離は、基準点から遠方側強度最大点までの画素数と画素当たりのレンジ分解能の積であるから、上記式 (1) を参照すると、平均画像のタンクの浮き屋根 3 の高さ (基準高さ) から高さの変動量は、

$$(\text{高さの変動量}) = (\text{基準点から遠方側強度最大点までの画素数}) \times (\text{画素当たりのレンジ分解能}) \times \tan \theta \cdots (2)$$

により求めることができるので、式 (2) により、基準高さからの浮き屋根 3 の高さの変動量を求める (S 1 2 7)。

[0042] 更に、原油備蓄量算出部 117 は、求めた浮き屋根 3 の高さの変動量と各タンク 1 の底面積を乗じることにより、各タンク 1 の原油の備蓄量の変化量を求める (S 1 2 9)。各タンク 1 の底面積は、既知の値を用いたり、SAR 強度画像から求めたり等適切な任意の手法で取得することができる。そして、各タンクの原油の備蓄量の変化量の総和を求めることにより、原油備蓄基地 5 全体の原油の備蓄量の変化量を求める (S 1 3 1)。

[0043] 本実施形態によれば、そのままの観測では原油備蓄タンクの特定制や解析が極めて困難な安価な L-band SAR を用いても、浮き屋根式タンクの浮き屋根の高さの変化量を例とする直角構造の水平部の高さの変化量を求めることができる。よって、低コストで、3D データの作成の必要がない、浮き屋根式タンクの浮き屋根の高さの変化量を例とする直角構造の水平部の高さ

の変化量を求めることができる。

[0044] また、本実施形態によれば、時系列データを用いた機械学習処理によって原油備蓄タンクの抽出処理が自動化され、抽出した原油備蓄タンクの浮き屋根の高さの変化量の推定処理も自動化されている。

[0045] (第2の実施形態)

図17は、本発明の第2の実施形態の原理を示す図である。図18は、本発明の第2の実施形態に係る高さ推定システムの機能構成を示す図である。

図19は、本発明の第2の実施形態にかかる高さ変化量推定処理の一例のフローチャートである。これらの図17～図19等を参照して、本発明の第2の実施形態に係る原理、高さ推定システム及び高さ推定処理の例を説明する。図17～図19において、図1～図16に対応する部分には同一の符号を付し、第1の実施形態と重複する説明は省略する。また、第2の実施形態に係る高さ推定システムのハードウェア構成は、第1の実施形態と同様であるので説明を省略する。

[0046] まず、本実施形態の原理について説明する。第1の実施形態と同様に、原油タンクとして一般的な浮き屋根式タンクを例として、図17を参照して説明する。

[0047] 第1の実施形態で説明したように、SAR強度画像上では、浮き屋根3は、実際の位置よりも合成開口レーダS側に表示される。そして、観測対象点P（浮き屋根3と容器部2の接点）の高さ（線分PQの大きさ）hは、線分RQの大きさをdとすると、

$$h = d \tan \theta \cdots (3)$$

により求めることができる。入射角 $\theta$ は既知であるから、dの値が分かれば、浮き屋根3の高さを求めることができる。

[0048] 一方、図17から分かるように、タンク1が高さを有することによって、合成開口レーダSから送出された電磁波が照射されず、SAR強度画像で影になる部分505が生じる。この影の部分505のうち、浮き屋根3の直下に対応する影505aの位置と、浮き屋根3の画像の位置が分かれば、線分

RQの大きさであるdの値が分かり、上の式(3)より、浮き屋根3の高さhを求めることができる。

[0049] 本実施形態は、浮き屋根3の直下に対応する影505aの位置を、影505aに対応する影テンプレート画像507を用いてテンプレートマッチングで求めると共に、浮き屋根3の画像509の位置を、浮き屋根3の画像509に対応する浮き屋根テンプレート画像509を用いてテンプレートマッチングで求めることにより、浮き屋根3の高さhを求めるものである。

[0050] 高さ推定システム20は、水平部最近点決定部203、影最近点決定部203、高さ算出部205、原油備蓄量算出部207を備える。

[0051] 水平部最近点決定部203(第1部分最近点決定部)は、構造物のSAR強度画像の水平部の画像に対して、水平部テンプレート画像(第1部分テンプレート画像)を用いてテンプレートマッチングを行い、マッチングした位置における水平部テンプレート画像の合成開口レーダに最も近い点である水平部最近点(第1部分最近点)を求める。

[0052] 影最近点決定部203は、構造物のSAR強度画像の、影の画像及び構造物の合成開口レーダ側の周縁部の画像に対して、影テンプレート画像を用いてテンプレートマッチングを行い、最もマッチングした位置における前記影テンプレート画像の合成開口レーダに最も近い点である影最近点を求める。

[0053] 高さ算出部205(位置算出部)は、水平部最近点と影最近点との距離に基づいて、水平部の高さ(第1の部分の第1の方向の位置)を求める。

[0054] 原油備蓄量算出部207は、求めた屋根部の高さと前記原油備蓄用タンクの底面積を乗じることにより、原油備蓄用タンクの原油の備蓄量を求める。また、各タンクの原油の備蓄量の総和を求めることにより、原油備蓄基地全体の原油の備蓄量を求める。

[0055] 以上のシステム構成を前提に、本発明の第2の実施形態に係る高さ推定システムの高さ推定処理の例を以下に説明する。

[0056] 水平部最近点決定部203は、各タンクのSAR強度画像504の浮き屋根3の画像に対して、浮き屋根テンプレート画像509を用いてテンプレ

トマッチングを行い、最もマッチングした位置における浮き屋根テンプレート画像509の合成開口レーダSに最も近い点である浮き屋根最近点Uを求める。具体的には、各タンク1のSAR強度画像504に対して、予め作成された、浮き屋根3の画像509に対応する浮き屋根テンプレート画像511の位置を変えながらコンボリューションの値を求め、コンボリューションの値が最大となる位置の浮き屋根テンプレート画像511の合成開口レーダSに最も近い点である浮き屋根最近点Uを求める（S201）。

[0057] 影最近点決定部203は、各タンクのSAR強度画像504の影の部分505の画像及び各タンク1の合成開口レーダS側の周縁部506の画像に対して、影テンプレート画像507を用いてテンプレートマッチングを行い、最もマッチングした位置における影テンプレート画像507の合成開口レーダSに最も近い点である影最近点Tを求める。具体的には、各タンクのSAR強度画像504について、強度の逆数をとったSAR逆強度画像を生成し、SAR逆強度画像に対して、予め作成された、影の部分505の画像に対応する影テンプレート画像507の位置を変えながらコンボリューションの値を求める（S203）。また、SAR強度画像504に対して、影テンプレート画像507の位置を変えながらコンボリューションの値を求める（S205）ことによって、各タンクの合成開口レーダS側の周縁部506の画像の強度が大きくなる箇所を評価する。得られた両方のコンボリューションの値を総合的に判断して、最もマッチングした位置の影テンプレート画像507の合成開口レーダSに最も近い点である影最近点Tを求める（S207）。SAR逆強度画像の生成手法としては、SAR強度画像の強度の逆数をとる手法に限定されるものでなく、他の任意の適切な手法によって生成することができる。

[0058] 線分UTの大きさは、線分RQの大きさと等しいから、高さ算出部205は、上記ステップで求められた浮き屋根最近点Uと影最近点Tとの距離に基づいて、上記式（3）により、浮き屋根3の高さを求める（S209）。

[0059] 更に、原油備蓄量算出部207は、求めた浮き屋根3の高さと各タンクの

底面積を乗じることにより、各タンクの原油の備蓄量を求める（S 2 1 1）。そして、各タンクの原油の備蓄量の総和を求めることにより、原油備蓄基地5全体の原油の備蓄量を求める（S 2 1 3）。

[0060] 本実施形態によれば、そのままの観測では原油備蓄タンクの特定制や解析が極めて困難な安価なL-band SARを用いても、浮き屋根式タンクの浮き屋根の高さを例とする直角構造の水平部の高さを求めることができる。よって、低コストで、3Dデータの作成の必要がない、浮き屋根式タンクの浮き屋根の高さを例とする直角構造の水平部の高さを求めることができる。

[0061] （第3の実施形態）

図20は、本発明の第3の実施形態の原理を示す図である。図21は、本発明の第2の実施形態に係る高さ推定システムの機能構成を示す図である。図22は、本発明の第3の実施形態にかかる高さ変化量推定処理の一例のフローチャートである。これらの図20～22等を参照して、本発明の第3の実施形態に係る原理、高さ推定システム及び高さ推定処理の例を説明する。図20～図22において、図1～図18に対応する部分には同一の符号を付し、第1及び第2の実施形態と重複する説明は省略する。また、第3の実施形態に係る高さ推定システムのハードウェア構成は、第1の実施形態と同様であるので説明を省略する。

[0062] まず、本発明の第3の実施形態の原理について説明する。図20は、本発明の第3の実施形態の原理を示す図である。第1及び第2の実施形態と同様に、原油タンクとして一般的な浮き屋根式タンクを例として説明する。

[0063] 合成開口レーダが観測する反射波の強度は、観測対象物のレーダ断面積に比例する。図20から分かるように、浮き屋根3の高さが小さい場合は直角構造のレーダ断面積は大きくなり、浮き屋根3の高さが大きい場合は直角構造のレーダ断面積は小さくなる。したがって、合成開口レーダが観測する反射波の強度は、浮き屋根3の高さが小さい場合は大きくなり、浮き屋根3の高さが大きい場合は小さくなる。

[0064] ある直角構造のレーダ断面積を数式化することは困難な場合が多いので、

予め水平部の高さ、合成開口レーダから直角構造へと送出された電磁波が、直角構造によって反射されてなる反射波の強度との関係を実測やシミュレーション等によって求めておき、その関係と取得された反射波の強度から、水平部の高さを求めることができる。

[0065] 高さ推定システム30は、高さー反射強度関係取得部301、反射波強度取得部303、高さ算出部305、原油備蓄量算出部307を備える。

[0066] 高さー反射強度関係取得部301（位置ー反射強度関係取得部）は、水平部の高さ（第1の部分の第1の方向の位置）と、合成開口レーダから直角構造へと送出された電磁波が、直角構造によって反射されてなる反射波の強度との関係を取得する。

[0067] 反射波強度取得部303は、合成開口レーダから直角構造へと送出された電磁波が、直角構造によって反射されてなる反射波の強度を取得する。

[0068] 高さ算出部305（位置算出部）は、取得された反射波の強度と、水平部の高さ、合成開口レーダから直角構造へと送出された電磁波が、直角構造によって反射されてなる反射波の強度との関係とに基づいて、水平部の高さを求める。

[0069] 原油備蓄量算出部307は、求めた屋根部の高さと原油備蓄用タンクの底面積を乗じることにより、原油備蓄用タンクの原油の備蓄量を求める。また、各タンクの原油の備蓄量の総和を求めることにより、原油備蓄基地全体の原油の備蓄量を求める。

[0070] 以上のシステム構成を前提に、本発明の第3の実施形態に係る高さ推定システムの高さ推定処理の例を以下に説明する。

[0071] 高さー反射強度関係取得部301は、浮き屋根3の高さと、合成開口レーダから直角構造へと送出された電磁波が、直角構造によって反射されてなる反射波の強度との関係を、実測やシミュレーション等により取得する。例えば、実測による場合は、原油備蓄基地5の各タンク1の浮き屋根3の高さはそれぞれ異なる場合が多いので、ある時期の各タンクの浮き屋根3の高さの実測値を取得する（S301）。また、そのある時期にSAR観測を行い、

第1の実施形態と同様にして、そのある時期の各タンクのSAR強度画像における中心線上で、各タンクの中心位置よりも合成開口レーダから遠い側において強度が最大となる点である遠方側強度最大点を求め、その点の強度を取得する（S303）。そして、各タンクの浮き屋根3の高さの実測値とSAR強度画像における遠方側強度最大点の強度から両者の関係を求める（S305）。図23に浮き屋根3の高さの実測値とSAR強度画像における遠方側強度最大点の強度の関係の例を示す。本実施形態においては、浮き屋根の高さの実測値とSAR強度画像における遠方側強度最大点の強度の関係を求めるのに必要な複数のデータとして、1つの時期の複数のタンクの浮き屋根の高さの実測値とSAR強度画像における遠方側強度最大点の強度データを用いたが、1つのタンクの複数の時期又は複数のタンクの複数の時期の浮き屋根の高さの実測値とSAR強度画像における遠方側強度最大点の強度を用いてもよい。

[0072] 反射波強度取得部303は、SARから直角構造へと送出された電磁波が、直角構造によって反射されてなる反射波の強度を取得する。具体的には、第1の実施形態と同様にして、各タンク1のSAR強度画像における中心線上で、各タンク1の中心位置よりも合成開口レーダから遠い側において強度が最大となる点である遠方側強度最大点を求め、その点の強度を取得する（S307）。

[0073] 高さ算出部305は、取得された反射波の強度と、水平部の高さ、合成開口レーダから直角構造へと送出された電磁波が、該直角構造によって反射されてなる反射波の強度との関係とに基づいて、水平部の高さを求める。具体的には、取得された各タンクの遠方側強度最大点の強度と、タンク1の浮き屋根3の高さと遠方側強度最大点の強度との関係とに基づいて、浮き屋根3の高さを求める（S309）。

[0074] 更に、原油備蓄量算出部307は、求めた浮き屋根3の高さと各タンクの底面積を乗じることにより、各タンクの原油の備蓄量を求める（S311）。そして、各タンクの原油の備蓄量の総和を求めることにより、原油備蓄基

地5全体の原油の備蓄量を求める（S313）。

[0075] 本実施形態によれば、そのままの観測では原油備蓄タンクの特定制や解析が極めて困難な安価なL-band SARを用いても、浮き屋根式タンクの浮き屋根の高さを例とする直角構造の水平部の高さを求めることができる。よって、低コストで、3Dデータの作成の必要がない、浮き屋根式タンクの浮き屋根の高さを例とする直角構造の水平部の高さを求めることができる。

[0076] （第4の実施形態）

図24は、ある時期の広域低分解能観測モードのSAR強度画像の例を示す図である。図25は、複数の時期の広域低分解能観測モードのSAR強度画像の重ね合わせ画像の例を示す図である。図26は、あるタンクの、広域低分解能観測モードのSAR強度画像と高分解能観測モードのSAR強度画像の例を示す図である。図27は、本発明の第4の実施形態にかかる高さ変化量推定処理の一例のフローチャートである。これらの図24～27や図8等を参照して、本発明の第4の実施形態に係る高さ推定システム及び高さ推定処理の例を説明する。図27において、図22に対応する部分には同一の符号を付し、第1～第3の実施形態と重複する説明は省略する。また、第4の実施形態に係る高さ推定システムの機能構成は、第3の実施形態と同様であり、第4の実施形態に係る高さ推定システムのハードウェア構成は、第1の実施形態と同様であるので説明を省略する。

[0077] 第3の実施形態においては、第1の実施形態と同様にして、ある時期の各タンクのSAR強度画像における中心線上で、各タンクの中心位置よりも合成開口レーダから遠い側において強度が最大となる点である遠方側強度最大点を求め、その点の強度を取得する。しかしながら、ScanSARモード等の広域低分解能観測モードを用いた場合、図26に示されるように、分解能が低いために、中心線を明確に判別することが難しい。本実施形態は、ScanSARモード等の広域低分解能観測モードを用いた場合に、中心線上の遠方側強度最大点に対応する点である遠方側強度最大点对応点を求めて、その点の強度を取得することによって、浮き屋根の高さを求めるものである。以下、本発明の

第4の実施形態に係る高さ推定システムの高さ推定処理の例を説明する。

- [0078] 第3の実施形態と同様にして、高さー反射強度関係取得部301は、浮き屋根3の高さと、合成開口レーダから直角構造へと送出された電磁波が、直角構造によって反射されてなる反射波の強度との関係を、実測やシミュレーション等により取得する。例えば、実測による場合は、原油備蓄基地5の各タンク1の浮き屋根3の高さはそれぞれ異なる場合が多いので、ある時期の各タンクの浮き屋根3の高さの実測値を取得する（S301）。
- [0079] また、そのある時期に行われた、ScanSARモード等の広域低分解能観測モードのSAR観測によるSAR強度画像601を取得する（S401）。
- [0080] 一方、第1の実施形態と同様にして、複数の時期の原油備蓄基地5の広域低分解能観測モードのSAR強度画像を、同じ位置の地点が一致するように重ね合わせた重ね合わせ画像603を生成する（S403）。ここで、重ね合わせ画像603の各画素の強度が、複数の時期のSAR強度画像の対応する画素の強度のうちの最小値となるように重ね合わせが行われる。
- [0081] 次に、ある時期のSAR強度画像の各画素の強度と、重ね合わせ画像の対応する画素の強度をとの差分を計算することにより、差分画像を生成する（S405）。
- [0082] そして、各タンクの差分画像において差分が最大となる点を求め、その点の強度を取得する（S407）。ここで、この差分が最大となる点が、第1の実施形態において求められる、中心線上の遠方側強度最大点に対応する点である遠方側強度最大点对応点となるが、この理由を以下に詳述する。
- [0083] 図8を再び参照して、本実施形態のタンク1は、円筒形状を有しているので、タンク1の側壁2aの、タンク1の中心位置を通るレンジ方向の直線Lとタンクの底面の円周との交点W、Qを通り、鉛直方向に延びる部分からの反射波の強度が、他の部分よりも大きく観測される。合成開口レーダから送出された電磁波を反射する、タンク1の側壁2aの、合成開口レーダに近い側の交点Wを通り、鉛直方向に延びる部分は一定である。これに対して、合成開口レーダから送出された電磁波を反射する、合成開口レーダから遠い側

の交点Qを通る部分は、浮き屋根3よりも上の側壁2 aの部分であり、時期によって変動するのが通常である。よって、複数の時期のSAR強度画像において、交点Wに対応する点の強度は一定であり、交点Qに対応する点の強度は変動するのが通常である。つまり、上記の重ね合わせ画像603は、重ね合わせ画像603の各画素の強度が、複数の時期のSAR強度画像の対応する画素の強度のうちの最小値となるように重ね合わせが行われたものであるから、重ね合わせ画像603において、交点Qに対応する点の強度が、交点Wに対応する点の強度よりも小さいのが通常である。したがって、ある時期の浮き屋根3の高さが、重ね合わせ画像603の生成に用いられたSAR強度画像に対応する浮き屋根3の高さの最小値と同じでない限り、差分画像においては、交点Wに対応する点の強度はゼロであり、交点Qに対応する点の強度は、ゼロでない値となるので、交点Wに対応する点と交点Qに対応する点とを判別することができ、交点Qに対応する点が、第1の実施形態において求められる、中心線上の遠方側強度最大点に対応する点である遠方側強度最大点对応点となる。

[0084] 次に、各タンクの浮き屋根3の高さの実測値とSAR強度画像における遠方側強度最大点对応点の強度から両者の関係を求める（S409）。

[0085] その後、反射波強度関係取得部303は、SARから直角構造へと送出された電磁波が、直角構造によって反射されてなる反射波の強度を取得する。具体的には、上述のステップS401～S407と同様にして、各タンクの遠方側強度最大点对応点を求め、その点の強度を取得する（S411）。

[0086] 高さ算出部305は、取得された反射波の強度と、水平部の高さ、合成開口レーダから直角構造へと送出された電磁波が、該直角構造によって反射されてなる反射波の強度との関係とに基づいて、前記水平部の高さを求める。具体的には、取得された各タンクの遠方側強度最大点对応点の強度と、タンク1の浮き屋根3の高さと遠方側強度最大点对応点の強度との関係とに基づいて、浮き屋根3の高さを求める（S413）。

[0087] 更に、原油備蓄量算出部307は、求めた浮き屋根3の高さと各タンクの

底面積を乗じることにより、各タンクの原油の備蓄量を求める（S 3 1 1）。そして、各タンクの原油の備蓄量の総和を求めることにより、原油備蓄基地5全体の原油の備蓄量を求める（S 3 1 3）。

[0088] 本実施形態によれば、そのままの観測では原油備蓄タンクの特定制解析が極めて困難なScanSARモード等の広域低分解能観測モードを用いても、浮き屋根式タンクの浮き屋根の高さを例とする直角構造の水平部の高さを求めることができる。よって、3Dデータの作成の必要がない、浮き屋根式タンクの浮き屋根の高さを例とする直角構造の水平部の高さを求めることができる。

[0089] 上記実施形態においては、観測対象の直角構造として、浮き屋根式タンクの側壁と浮き屋根を例示して説明したが、本発明は、その他の直角構造の観測にも用いることができることはもちろんである。また、直角構造は、水平方向の面を有する水平部と鉛直方向の面を有する鉛直部とが直交面を形成する構造に限定されるものでなく、水平方向から所定の角度だけ傾斜した面を有する第1の部分と、鉛直方向から該所定の角度と同じ角度だけ傾斜した面を有する第2の部分が直交面を形成する構造であってもよい。

[0090] 以上、本発明について、例示のためにいくつかの実施形態に関して説明してきたが、本発明はこれに限定されるものでなく、本発明の範囲及び精神から逸脱することなく、形態及び詳細について、様々な変形及び修正を行うことができることは、当業者に明らかであろう。

## 符号の説明

- [0091] 1 浮き屋根式タンク  
2 容器部  
2 a 側壁  
3 浮き屋根  
4 原油  
5 原油備蓄基地  
1 0 高さ変化量推定システム  
1 0 1 重ね合わせ画像生成部

- 1 0 3 対象領域指定部
- 1 0 5 位置補正部
- 1 0 7 テンプレート画像生成部
- 1 0 9 構造物中心位置取得部
- 1 1 1 平均画像生成部
- 1 1 3 基準点決定部
- 1 1 5 高さ変化量算出部
- 1 1 7 原油備蓄量算出部
- 2 0 高さ推定システム
- 2 0 1 水平部最近点決定部
- 2 0 3 影最近点決定部
- 2 0 5 高さ算出部
- 2 0 7 原油備蓄量算出部
- 3 0 高さ推定システム
- 3 0 1 高さー反射強度関係取得部
- 3 0 3 反射波強度取得部
- 3 0 5 高さ算出部
- 3 0 7 原油備蓄量算出部
- 5 0 0 重ね合わせ画像
- 5 0 1 解析対象領域
- 5 0 3 テンプレート画像
- 5 0 4 タンクのSAR強度画像
- 5 0 5 影の部分
- 5 0 5 a 浮き屋根の直下に対応する影
- 5 0 6 タンクの合成開口レーダ側の周縁部
- 5 0 7 影テンプレート画像
- 5 0 9 浮き屋根の画像
- 5 1 1 浮き屋根テンプレート画像

- 601 ある時期の広域低分解能観測モードのSAR強度画像
- 603 重ね合わせ画像
- 605 あるタンクの広域低分解能観測モードのSAR強度画像
- 607 あるタンクの高分解観測モードのSAR強度画像
- P、P' 浮き屋根と容器部の接点
- Q、Q' 実際の位置、合成開口レーダから遠い側の交点
- R、R' 画像上の位置
- S 合成開口レーダ
- T 影最近点
- U 浮き屋根最近点
- W 合成開口レーダに近い側の交点

## 請求の範囲

### [請求項1]

対象領域内に存在する、複数の、同一の構造を有する構造物であって、水平方向の面又は水平方向から所定の角度だけ傾斜した面を有する第1の部分と、鉛直方向の面又は鉛直方向から前記所定の角度だけ傾斜した面を有する第2の部分が直交面を形成する直角構造を有する構造物における、前記水平方向の面又は水平方向から所定の角度だけ傾斜した面に垂直な方向である第1の方向の前記第1の部分の位置の変化量を推定する位置変化量推定システムであって、

複数の時期の、対象領域を含むSAR強度画像を、同じ位置の地点が一致するように重ね合わせた、重ね合わせ画像を生成する重ね合わせ画像生成部と、

前記重ね合わせ画像に対して、前記複数の前記構造物の各々の中心を取得する構造物中心位置取得部と、

前記複数の前記構造物のうちの所望の前記構造物のSAR強度画像について、複数の時期のSAR強度画像に対して強度について平均をとり、平均画像を生成する平均画像生成部と、

前記平均画像において、1つの構造物のSAR強度画像における強度が最大となる点を通るレンジ方向の直線である中心線上で、前記所望の前記構造物の前記中心よりも合成開口レーダから遠い側において強度が最大となる点である基準点を求める基準点決定部と、 所望の時期の前記構造物のSAR強度画像における中心線上で、前記所望の前記構造物の前記中心よりも合成開口レーダから遠い側において強度が最大となる点である遠方側強度最大点を求め、その点と前記基準点との距離に基づいて、前記第1の部分の前記第1の方向の位置の変化量を求める位置変化量算出部と、  
を含むシステム。

### [請求項2]

前記構造物中心位置取得部は、前記重ね合わせ画像に対して、テンプレート画像を用いてテンプレートマッチングを行い、前記複数の前

記構造物の各々の中心を求める請求項 1 に記載のシステム。

[請求項3] 前記重ね合わせ画像における前記対象領域から切り出された複数の前記構造物の画像の各々について、強度が最大となる点を通るレンジ方向の直線を中心線とし、アジマス方向については、該中心線が互いに重なるように前記切り出された前記複数の前記構造物の画像を移動させ、レンジ方向については、前記中心線上の強度分布がマッチングする位置まで、前記切り出された前記複数の前記構造物の画像を互いに移動させてその位置を一致させる位置補正部と、

互いの位置が一致された前記切り出された前記複数の前記構造物の画像を重ね合わせてテンプレート画像を生成するテンプレート画像生成部と、

を更に含む請求項 2 に記載のシステム。

[請求項4] 前記テンプレート画像生成部は、前記互いの位置が一致された前記切り出された前記複数の前記構造物の画像の同じ位置の画素の強度の最小値を、前記同じ位置の画素の強度とするテンプレート画像を生成する請求項 3 に記載のシステム。

[請求項5] 前記重ね合わせ画像の各画素の強度は、前記複数の時期の、対象領域を含む S A R 強度画像の対応する画素の強度のうちの最小値である請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載のシステム。

[請求項6] 前記構造物は、有底円筒状の容器部と、該容器部に収容された原油に接し、収容された原油の量に応じて鉛直方向に移動可能な屋根部を備える原油備蓄用タンクである請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載のシステム。

[請求項7] 求めた前記屋根部の高さの変化量と前記原油備蓄用タンクの底面積を乗じることにより、前記原油備蓄用タンクの原油の備蓄量の変化量を求める原油備蓄量算出部を更に備える請求項 6 に記載のシステム。

[請求項8] 前記重ね合わせ画像において前記対象領域を指定する対象領域指定部を更に備え、

前記対象領域指定部は、前記原油備蓄用タンクを複数備える原油備蓄基地を指定し、

前記原油備蓄量算出部は、前記原油備蓄基地の各原油備蓄用タンクの原油の備蓄量の変化量の総和を求め、前記原油備蓄基地全体の原油の備蓄量の変化量を求める請求項 7 に記載のシステム。

[請求項9]

水平方向の面又は水平方向から所定の角度だけ傾斜した面を有する第 1 の部分と、鉛直方向の面又は鉛直方向から前記所定の角度だけ傾斜した面を有する第 2 の部分が直交面を形成する直角構造を有する構造物における、前記水平方向の面又は水平方向から所定の角度だけ傾斜した面に垂直な方向である第 1 の方向の前記第 1 の部分の位置を推定するシステムであって、

前記構造物の S A R 強度画像の前記第 1 の部分の画像に対して、第 1 部分テンプレート画像を用いてテンプレートマッチングを行い、最もマッチングした位置における前記第 1 部分テンプレート画像の合成開口レーダに最も近い点である第 1 部分最近点を求める第 1 部分最近点決定部と、

前記構造物の S A R 強度画像の、影の画像及び前記構造物の合成開口レーダ側の周縁部の画像に対して、影テンプレート画像を用いてテンプレートマッチングを行い、最もマッチングした位置における前記影テンプレート画像の合成開口レーダに最も近い点である影最近点を求める影最近点決定部と、

前記第 1 部分最近点と前記影最近点との距離に基づいて、前記第 1 の部分の前記第 1 の方向の位置を求める位置算出部と、を含むシステム。

[請求項10]

前記構造物は、有底円筒状の容器部と、該容器部に収容された原油に接し、収容された原油の量に応じて鉛直方向に移動可能な屋根部を備える原油備蓄用タンクである請求項 9 に記載のシステム。

[請求項11]

求めた前記屋根部の高さとは前記原油備蓄用タンクの底面積を乗じる

ことにより、前記原油備蓄用タンクの原油の備蓄量を求める原油備蓄量算出部を更に備える請求項 10 に記載のシステム。

[請求項12] 前記重ね合わせ画像において前記対象領域を指定する対象領域指定部を更に備え、

前記対象領域指定部は、前記原油備蓄用タンクを複数備える原油備蓄基地を指定し、

前記原油備蓄量算出部は、前記原油備蓄基地の各原油備蓄用タンクの原油の備蓄量の総和を求め、前記原油備蓄基地全体の原油の備蓄量を求める請求項 11 に記載のシステム。

[請求項13] 水平方向の面又は水平方向から所定の角度だけ傾斜した面を有する第 1 の部分と、鉛直方向の面又は鉛直方向から前記所定の角度だけ傾斜した面を有する第 2 の部分が直交面を形成する直角構造を有する構造物における、前記水平方向の面又は水平方向から所定の角度だけ傾斜した面に垂直な方向である第 1 の方向の第 1 の部分の位置を推定するシステムであって、

前記第 1 の部分の前記第 1 の方向の位置と、合成開口レーダから前記直角構造へと送出された電磁波が、該直角構造によって反射されてなる反射波の強度との関係を取得する、位置－反射波強度関係取得部と、

前記合成開口レーダから前記直角構造へと送出された電磁波が、該直角構造によって反射されてなる反射波の強度を取得する反射波強度取得部と、

取得された前記反射波の強度と、前記第 1 の部分の前記第 1 の方向の位置と、前記合成開口レーダから前記直角構造へと送出された電磁波が、該直角構造によって反射されてなる反射波の強度との関係とに基づいて、前記第 1 の部分の前記第 1 の方向の位置を求める位置算出部と、

を含むシステム。

## [請求項14]

前記位置－反射波強度関係取得部は、

前記第1の部分の前記第1の方向の位置の複数の測定値又は計算値を取得し、

前記複数の測定値又は計算値にそれぞれ対応するSAR強度画像を取得し、

複数の時期の前記構造物のSAR強度画像を、同じ位置の地点が一致するように重ね合わせた重ね合わせ画像を生成し、

前記複数の測定値又は計算値に対応するSAR強度画像の各々について、各画素の強度と、重ね合わせ画像の対応する画素の強度をとの差分を計算し、差分画像を生成し、

前記差分画像の各々において、差分が最大となる点を求め、その点の強度を前記反射波の強度として取得し、

前記第1の部分の前記第1の方向の位置の複数の測定値又は計算値と、前記複数の測定値又は計算値にそれぞれ対応するSAR強度画像における前記差分が最大となる点に対応する点の強度から、前記第1の部分の前記第1の方向の位置と反射波の強度との関係を求め、

前記反射波強度取得部は、

前記構造物のSAR強度画像を取得し、

前記構造物のSAR強度画像の各画素の強度と、重ね合わせ画像の対応する画素の強度をとの差分を計算し、差分画像を生成し、

前記差分画像において、差分が最大となる点を求め、その点の強度を前記反射波の強度として取得する請求項13に記載のシステム。

## [請求項15]

対象領域内に存在する、複数の、同一の構造を有する構造物であって、水平方向の面又は水平方向から所定の角度だけ傾斜した面を有する第1の部分と、鉛直方向の面又は鉛直方向から前記所定の角度だけ傾斜した面を有する第2の部分が直交面を形成する直角構造を有する構造物における、前記水平方向の面又は水平方向から所定の角度だけ傾斜した面に垂直な方向である第1の方向の前記第1の部材の位置の

変化量を推定する方法であって、

複数の時期の、対象領域を含むSAR強度画像を、同じ位置の地点が一致するように重ね合わせた、重ね合わせ画像を生成するステップと、

前記重ね合わせ画像に対して、前記複数の前記構造物の各々の中心を取得するステップと、

前記複数の前記構造物のうちの所望の前記構造物のSAR強度画像について、複数の時期のSAR強度画像に対して強度について平均をとり、平均画像を生成するステップと、前記平均画像において、1つの構造物のSAR強度画像における強度が最大となる点を通るレンジ方向の直線である中心線上で、前記所望の前記構造物の前記中心よりも合成開口レーダから遠い側において強度が最大となる点である基準点を求めるステップと、

所望の時期の前記構造物のSAR強度画像における中心線上で、前記所望の前記構造物の前記中心よりも合成開口レーダから遠い側において強度が最大となる点である遠方側強度最大点を求め、該遠方側強度最大点と前記基準点との距離に基づいて、前記第1の部分の前記第1の方向の位置の変化量を求めるステップと、  
を含む方法。

[請求項16]

水平方向の面又は水平方向から所定の角度だけ傾斜した面を有する第1の部分と、鉛直方向の面又は鉛直方向から前記所定の角度だけ傾斜した面を有する第2の部分が直交面を形成する直角構造を有する構造物における、前記水平方向の面又は水平方向から所定の角度だけ傾斜した面に垂直な方向である第1の方向の位置を推定する方法であって、

前記構造物のSAR強度画像の前記第1の部分の画像に対して、第1部分テンプレート画像を用いてテンプレートマッチングを行い、最もマッチングした位置における前記第1部分テンプレート画像の合成

開口レーダに最も近い点である第1部分最近点を求めるステップと、

前記構造物のSAR強度画像の、影の画像及び前記構造物の合成開口レーダ側の周縁部の画像に対して、影テンプレート画像を用いてテンプレートマッチングを行い、最もマッチングした位置における前記影テンプレート画像の合成開口レーダに最も近い点である影最近点を求めるステップと、

前記第1部分最近点と前記影最近点との距離に基づいて、前記第1の部分の前記第1の方向の位置を求めるステップと、  
を含む方法。

[請求項17]

水平方向の面又は水平方向から所定の角度だけ傾斜した面を有する第1の部分と、鉛直方向の面又は鉛直方向から前記所定の角度だけ傾斜した面を有する第2の部分が直交面を形成する直角構造を有する構造物における、前記水平方向の面又は水平方向から所定の角度だけ傾斜した面に垂直な方向である第1の方向の位置を推定する方法であって、

前記第1の部分の前記第1の方向の位置と、合成開口レーダから前記直角構造へと送出された電磁波が、該直角構造によって反射されてなる反射波の強度との関係を準備するステップと、

前記合成開口レーダから前記直角構造へと送出された電磁波が、該直角構造によって反射されてなる反射波の強度を取得するステップと、  
、

取得された前記反射波の強度と、前記第1の部分の前記第1の方向の位置と、前記合成開口レーダから前記直角構造へと送出された電磁波が、該直角構造によって反射されてなる反射波の強度との関係とに基づいて、前記水平部の高さを求めるステップと、  
を含む方法。

[請求項18]

前記第1の部分の前記第1の方向の位置と反射波の強度との関係を準備するステップは、

前記第 1 の部分の前記第 1 の方向の位置の複数の測定値又は計算値を取得するステップと、

前記複数の測定値又は計算値にそれぞれ対応する S A R 強度画像を取得するステップと、

複数の時期の前記構造物の S A R 強度画像を、同じ位置の地点が一致するように重ね合わせた重ね合わせ画像を生成するステップと、

前記複数の測定値又は計算値に対応する S A R 強度画像の各々について、各画素の強度と、重ね合わせ画像の対応する画素の強度をとの差分を計算し、差分画像を生成するステップと、

前記差分画像の各々において、差分が最大となる点を求め、その点の強度を前記反射波の強度として取得するステップと、

前記第 1 の部分の前記第 1 の方向の位置の複数の測定値又は計算値と、前記複数の測定値又は計算値にそれぞれ対応する S A R 強度画像における前記差分が最大となる点に対応する点の強度から、前記第 1 の部分の前記第 1 の方向の位置と反射波の強度との関係を求めるステップと、  
を更に含み、

前記反射波の強度を取得するステップは、

前記構造物の S A R 強度画像を取得するステップと、

前記構造物の S A R 強度画像の各画素の強度と、重ね合わせ画像の対応する画素の強度をとの差分を計算し、差分画像を生成するステップと、

前記差分画像において、差分が最大となる点を求め、その点の強度を前記反射波の強度として取得するステップと、

を更に含む請求項 17 に記載の方法。

[請求項19] 請求項 15～18 のいずれか 1 項に記載の方法をコンピュータに実行させるためのプログラム。

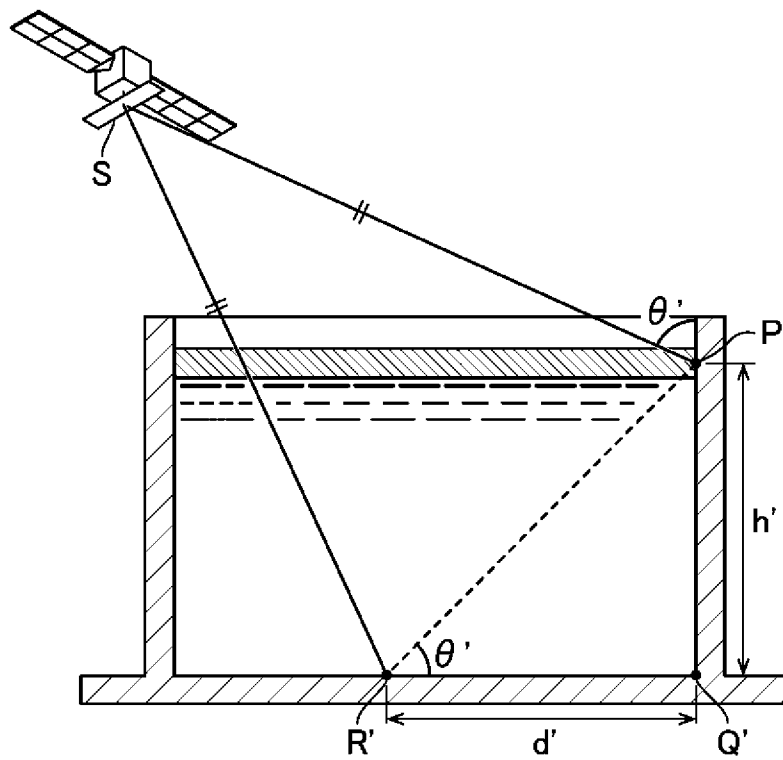
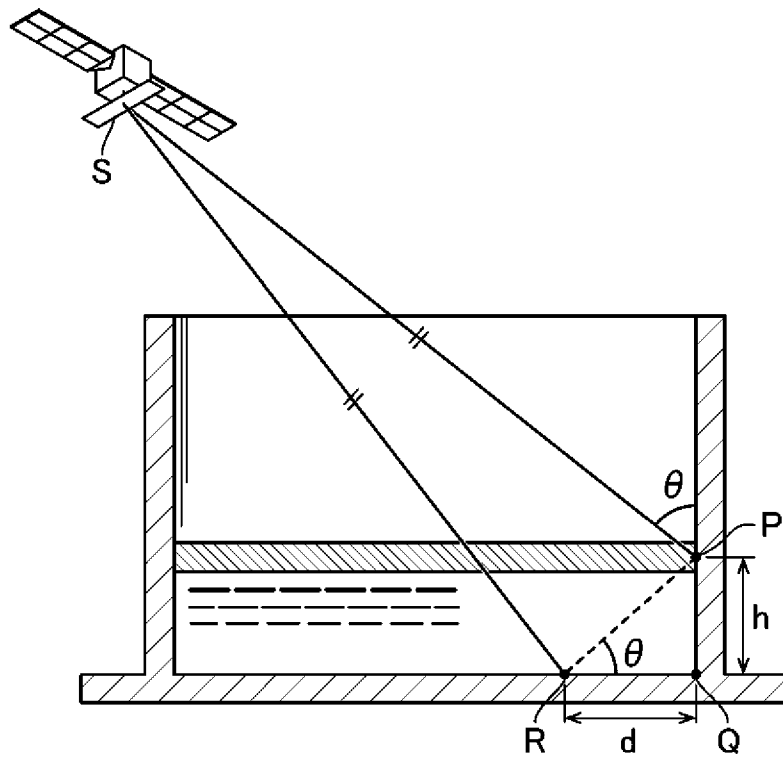
[請求項20] 請求項 19 に記載のプログラムを記録したコンピュータ読み取り可

能な記録媒体。

FIG. 2 is a cross-sectional view of a container assembly. The assembly includes a base 4, a side wall 2, and a top wall 2a. A layer 3 is positioned between the top wall 2a and the side wall 2. A dashed line indicates a horizontal interface within the container.

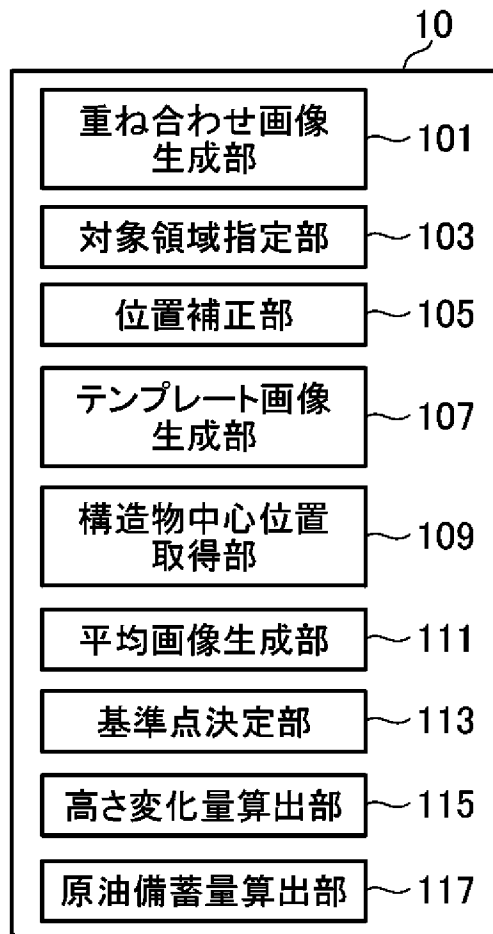
[図3]

FIG.3



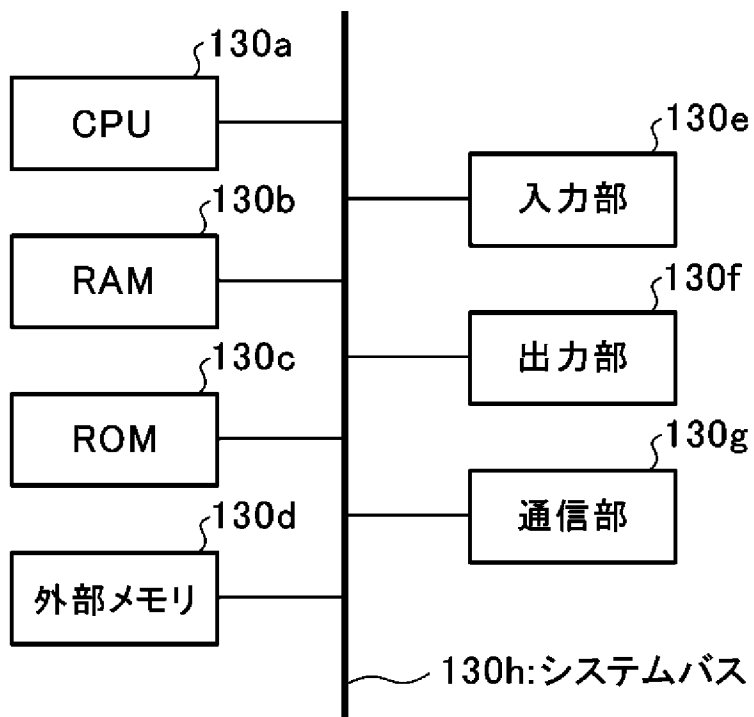
[図4]

FIG.4



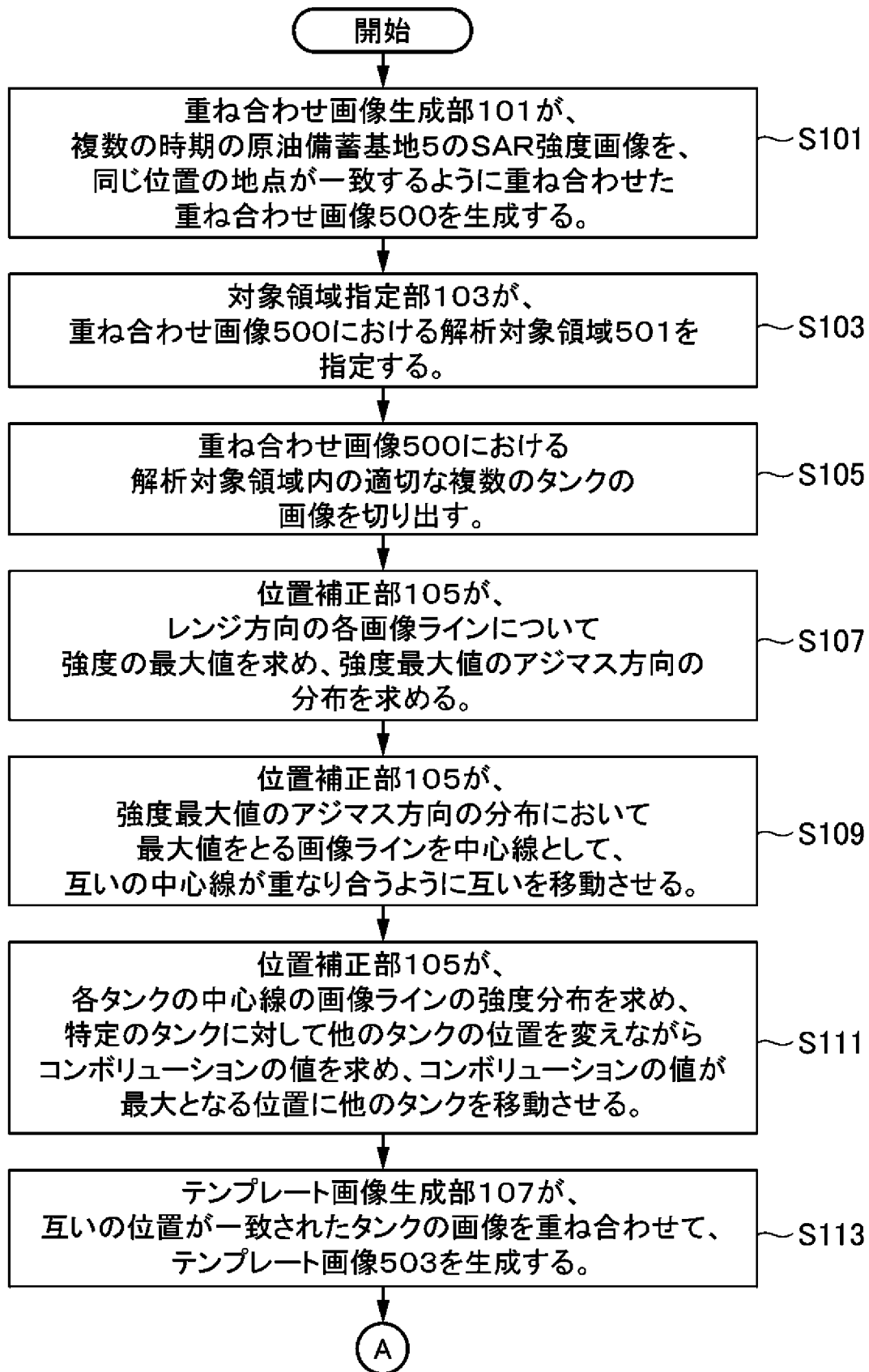
[図5]

FIG.5



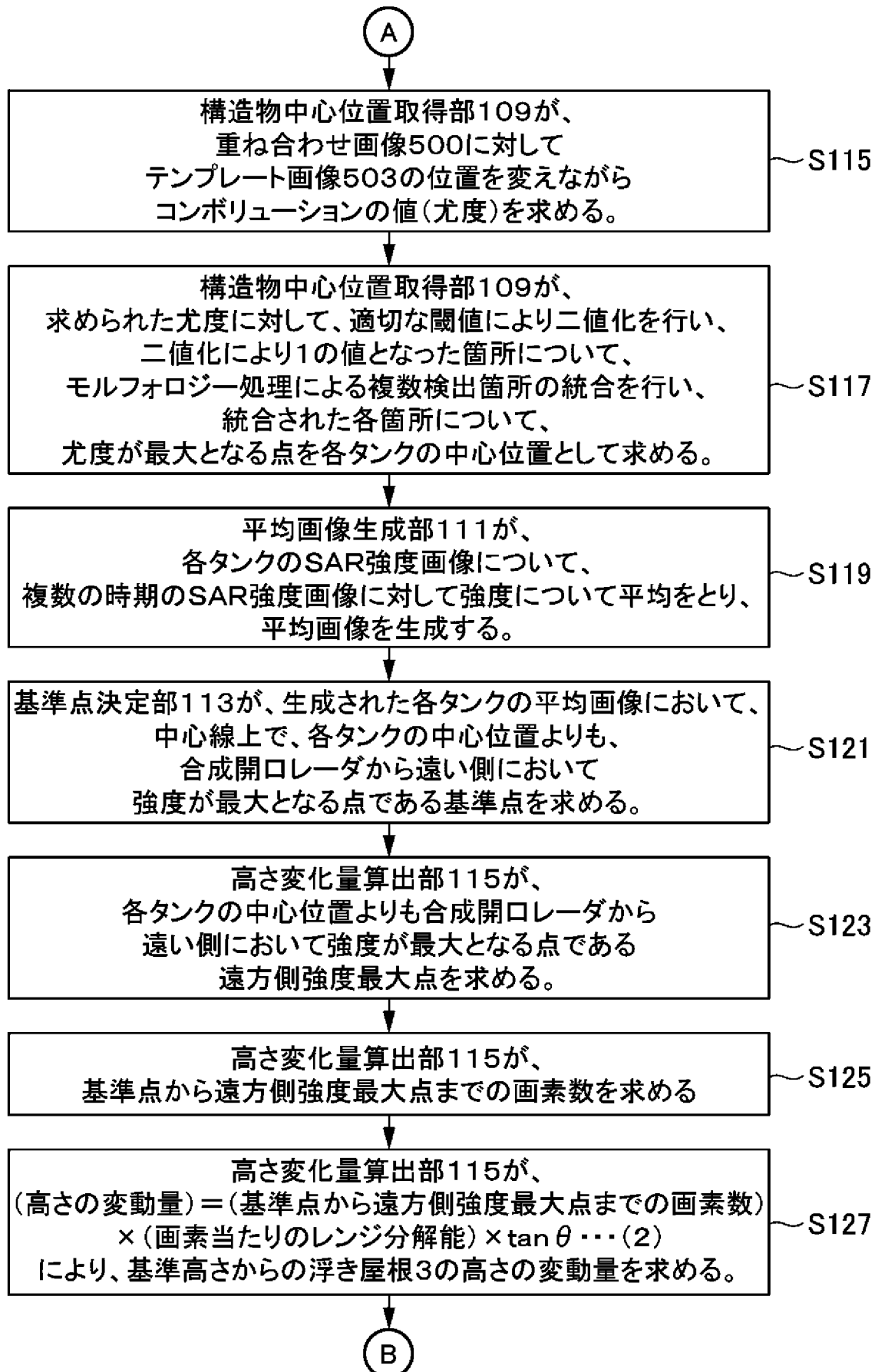
[図6A]

FIG.6A



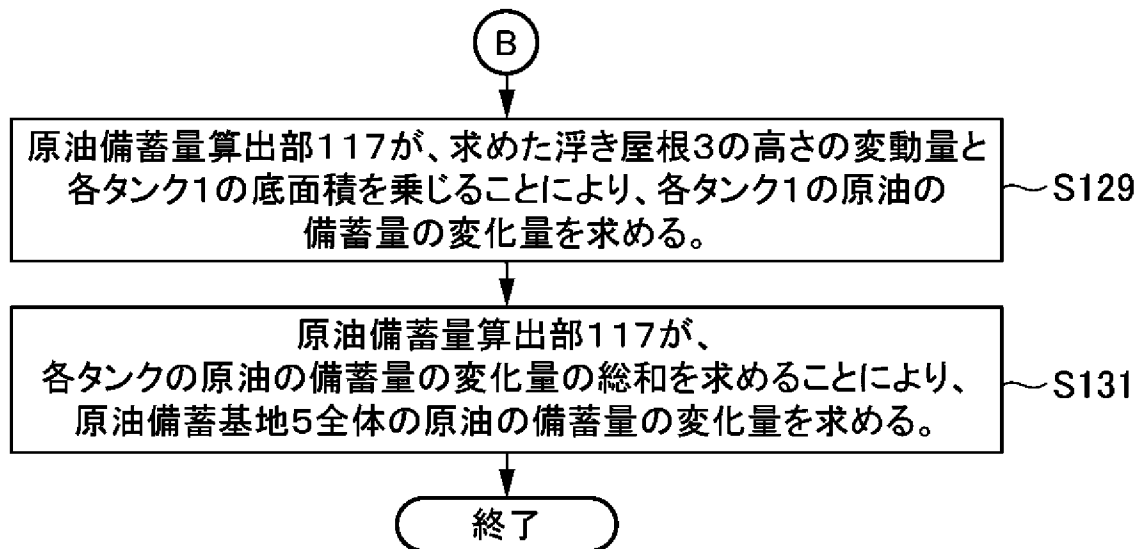
[図6B]

FIG.6B

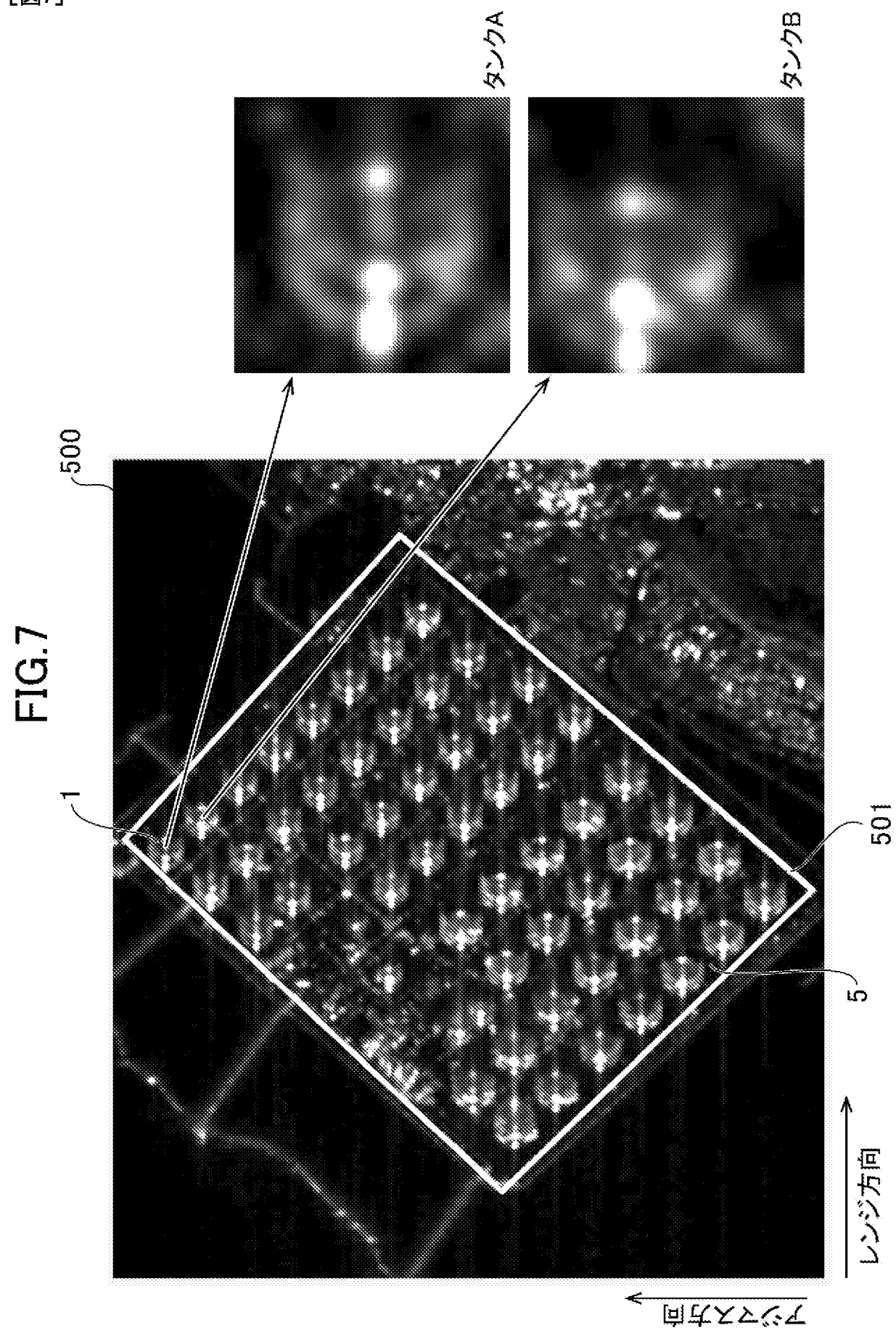


[図6C]

FIG.6C

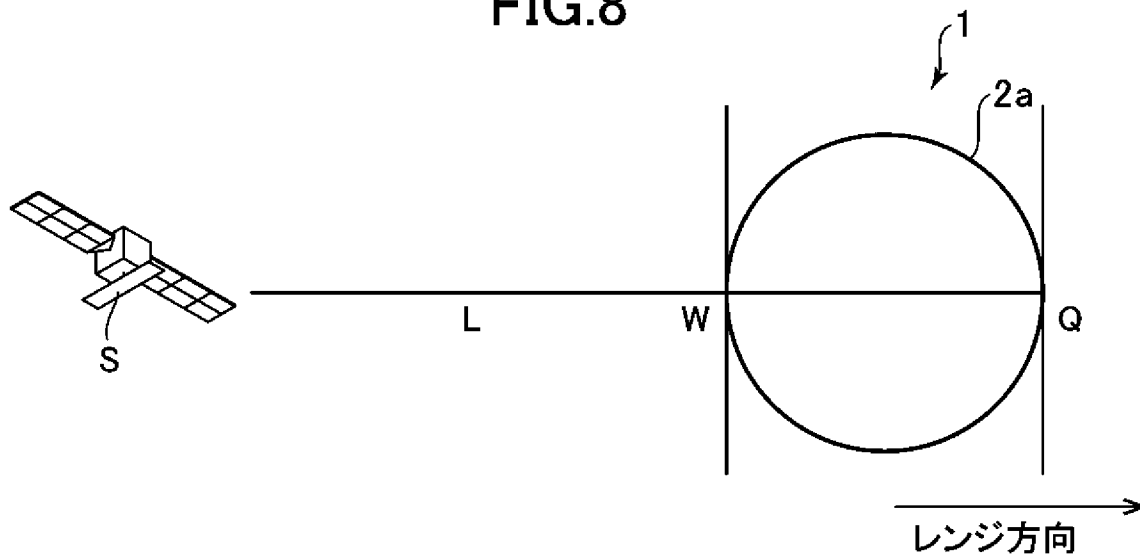


[図7]



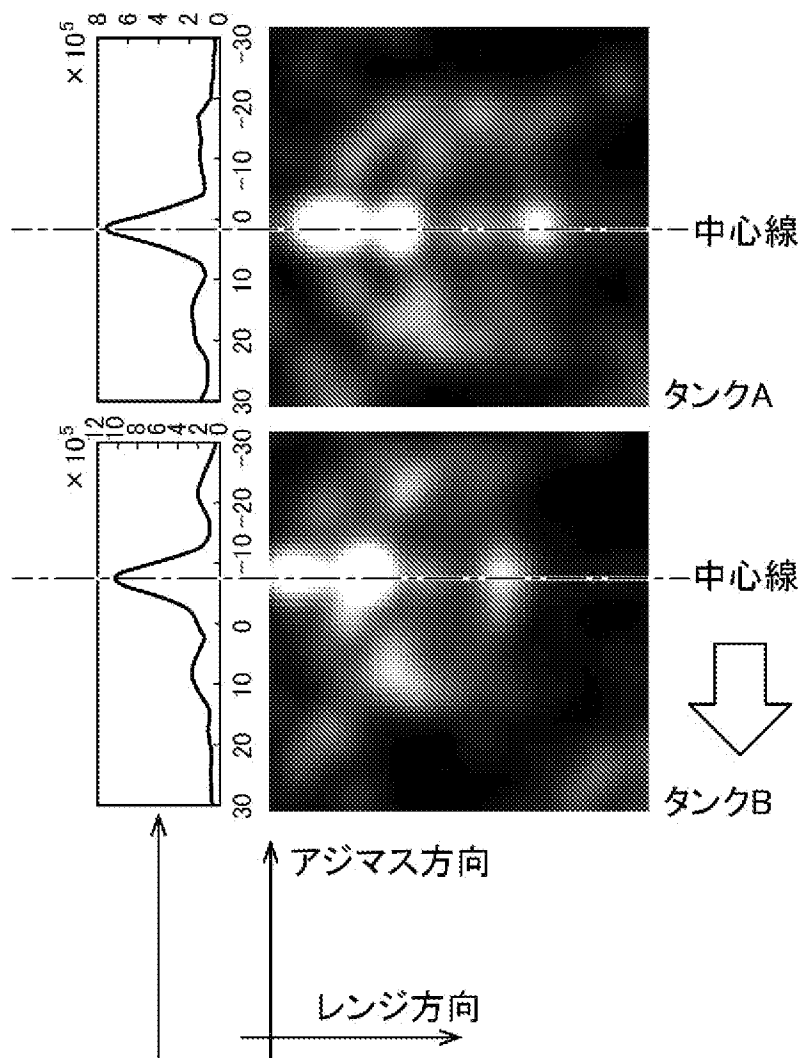
[図8]

FIG.8



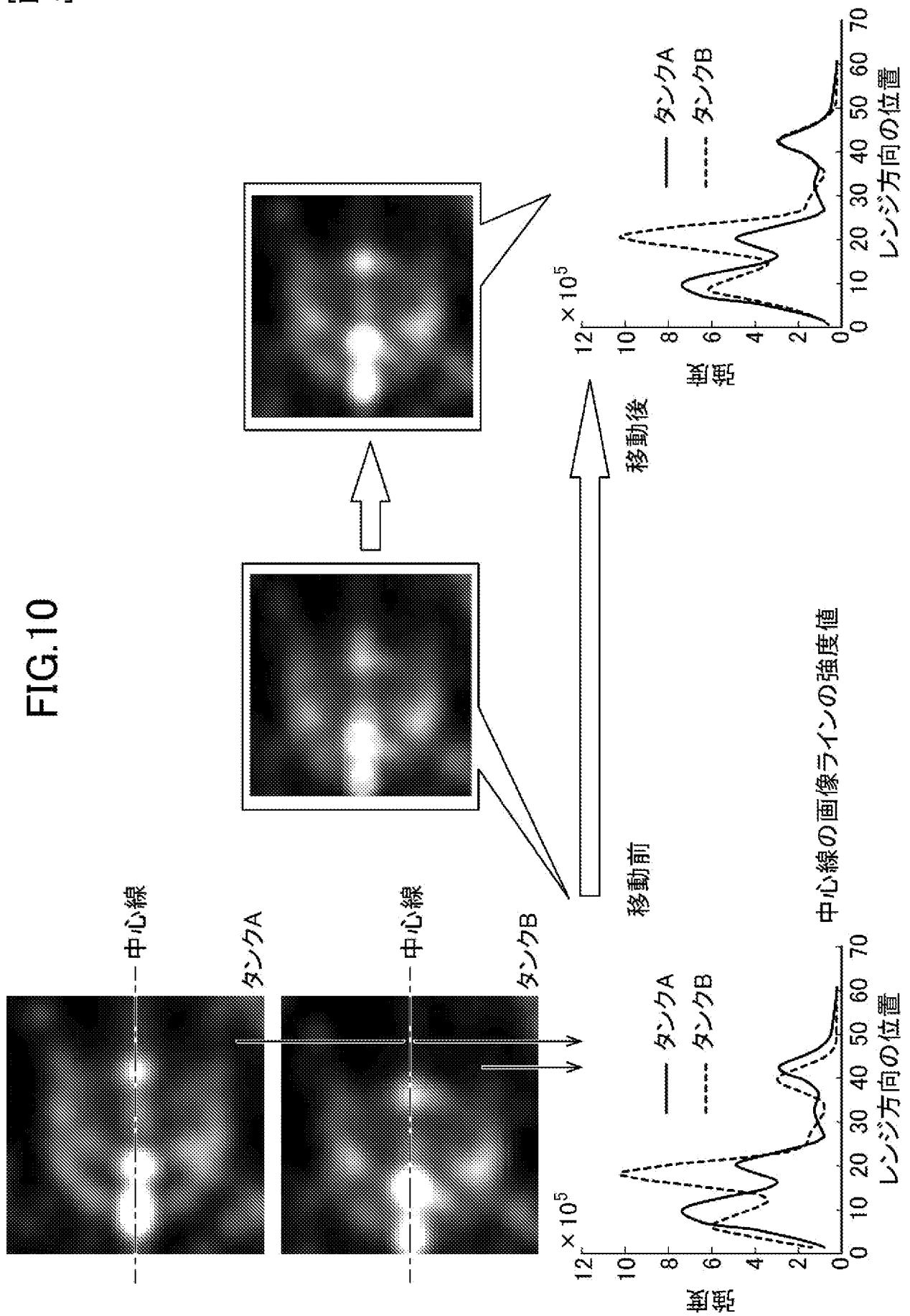
[図9]

FIG.9



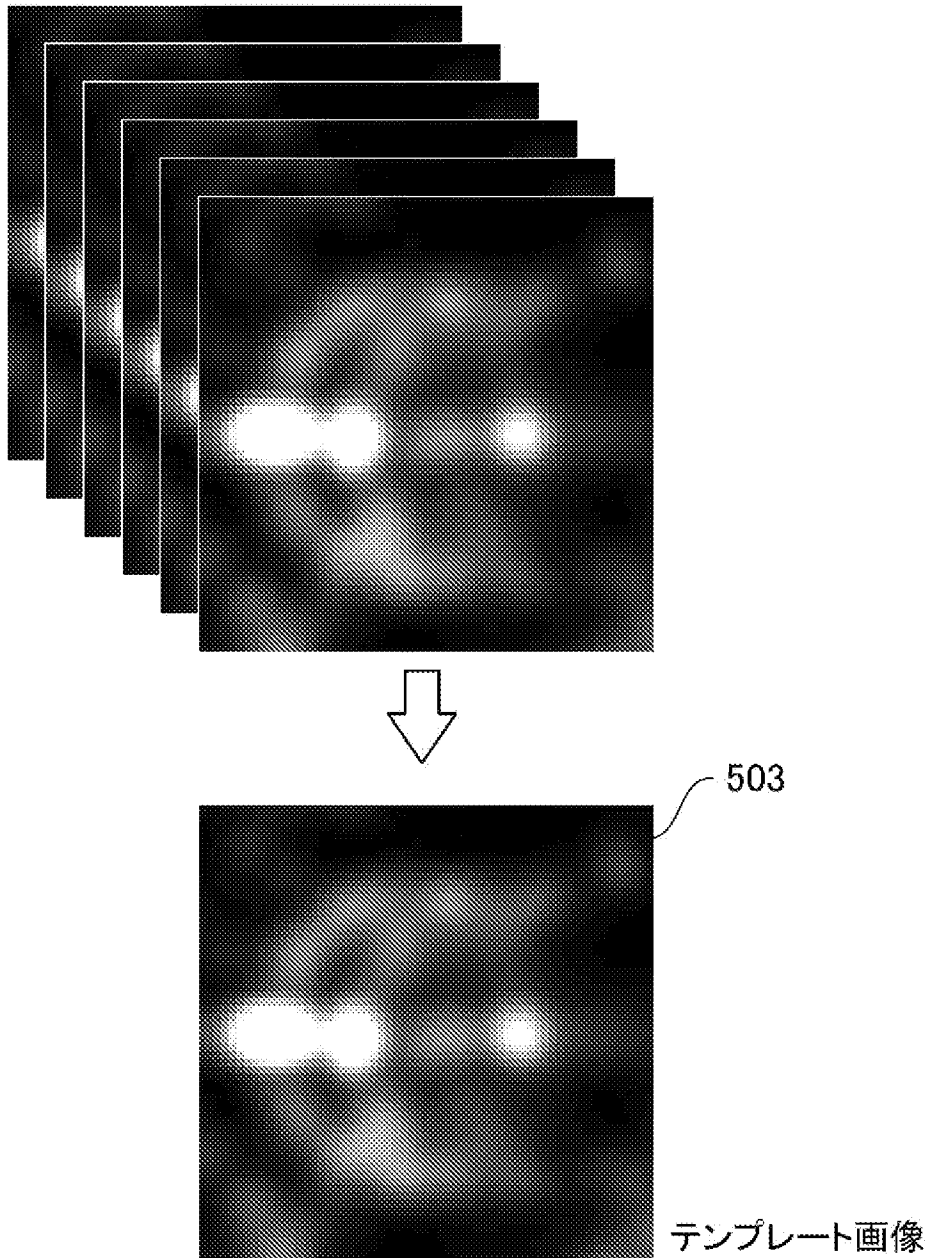
各画像ラインの強度の最大値のプロット  
(縦軸:アジマス位置、横軸:強度の最大値)

[図10]

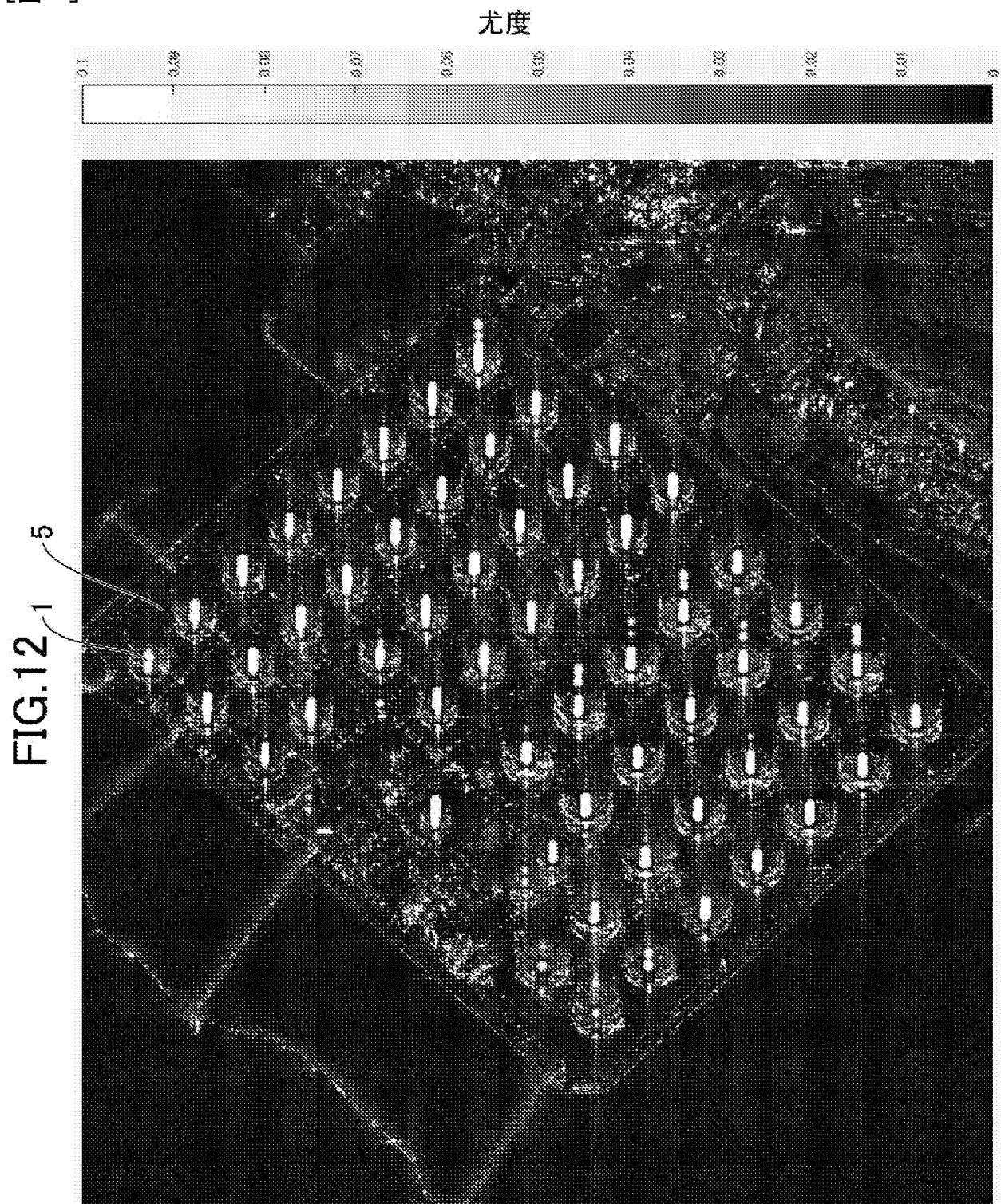


[図11]

FIG.11

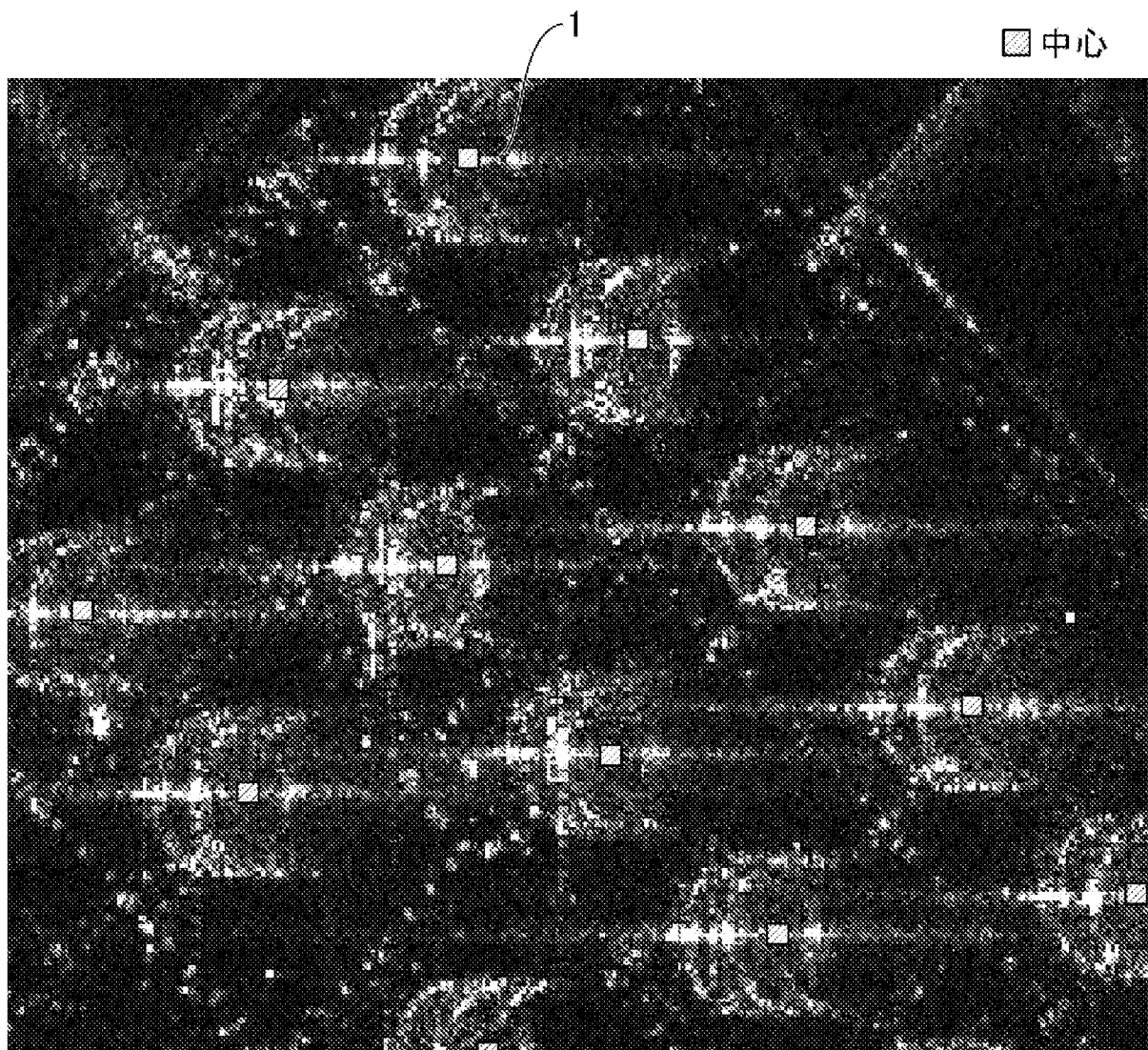


[図12]



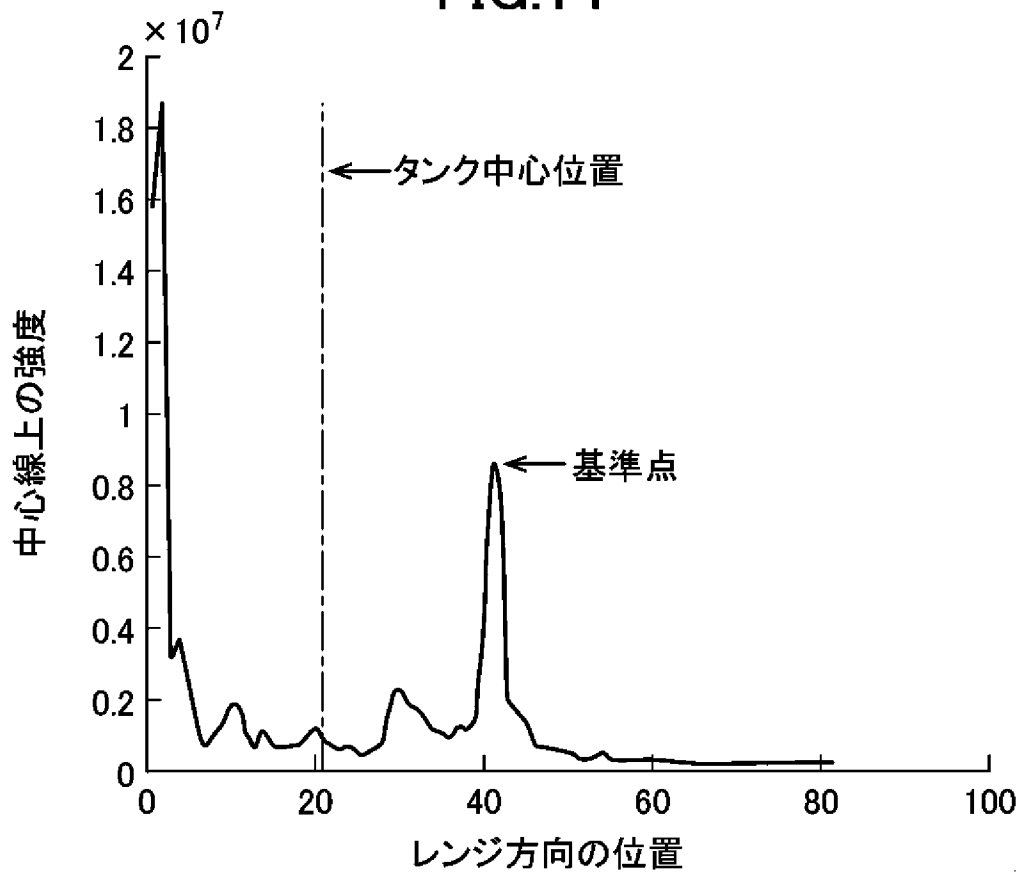
[図13]

FIG.13



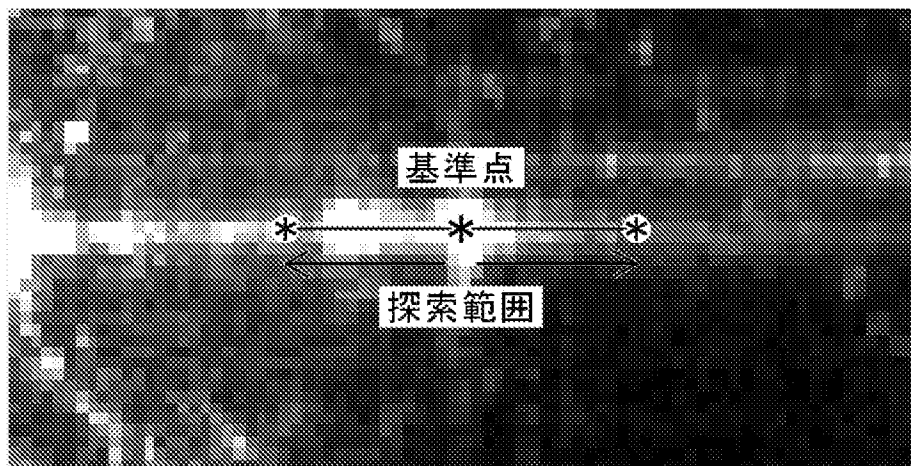
[図14]

FIG.14



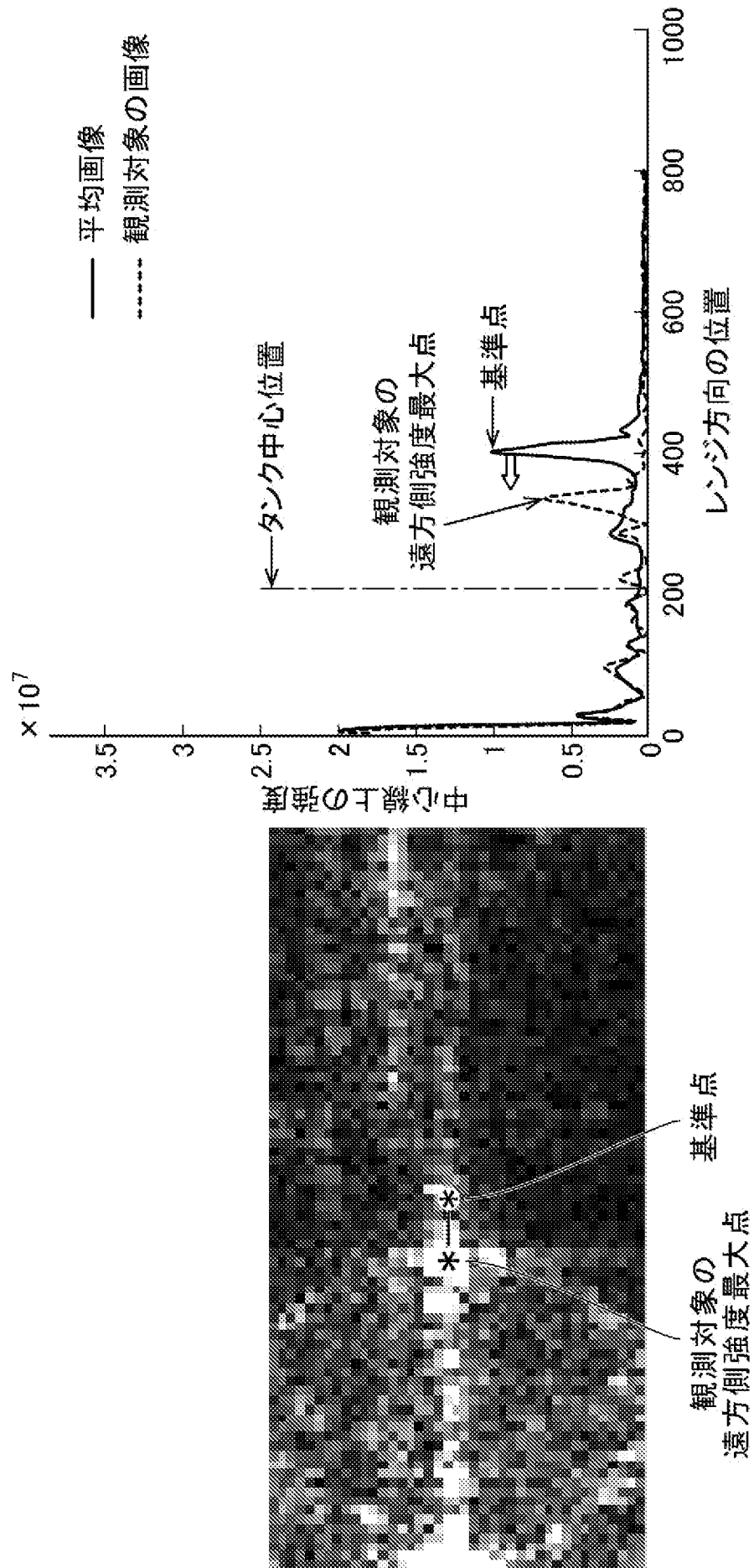
[図15]

FIG.15

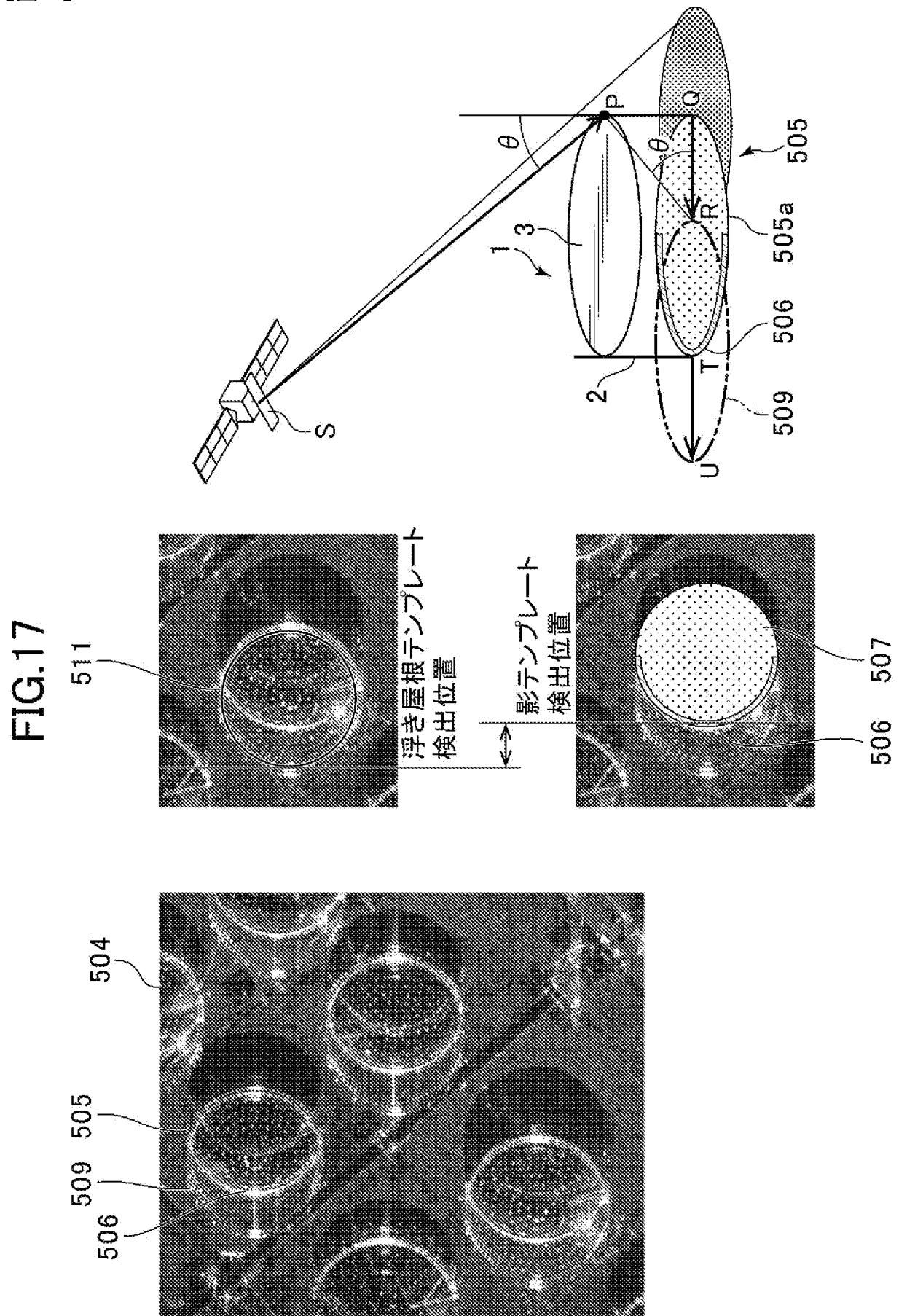


[図16]

FIG.16

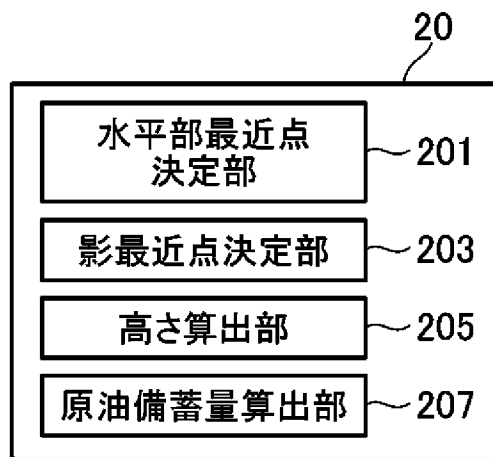


[図17]



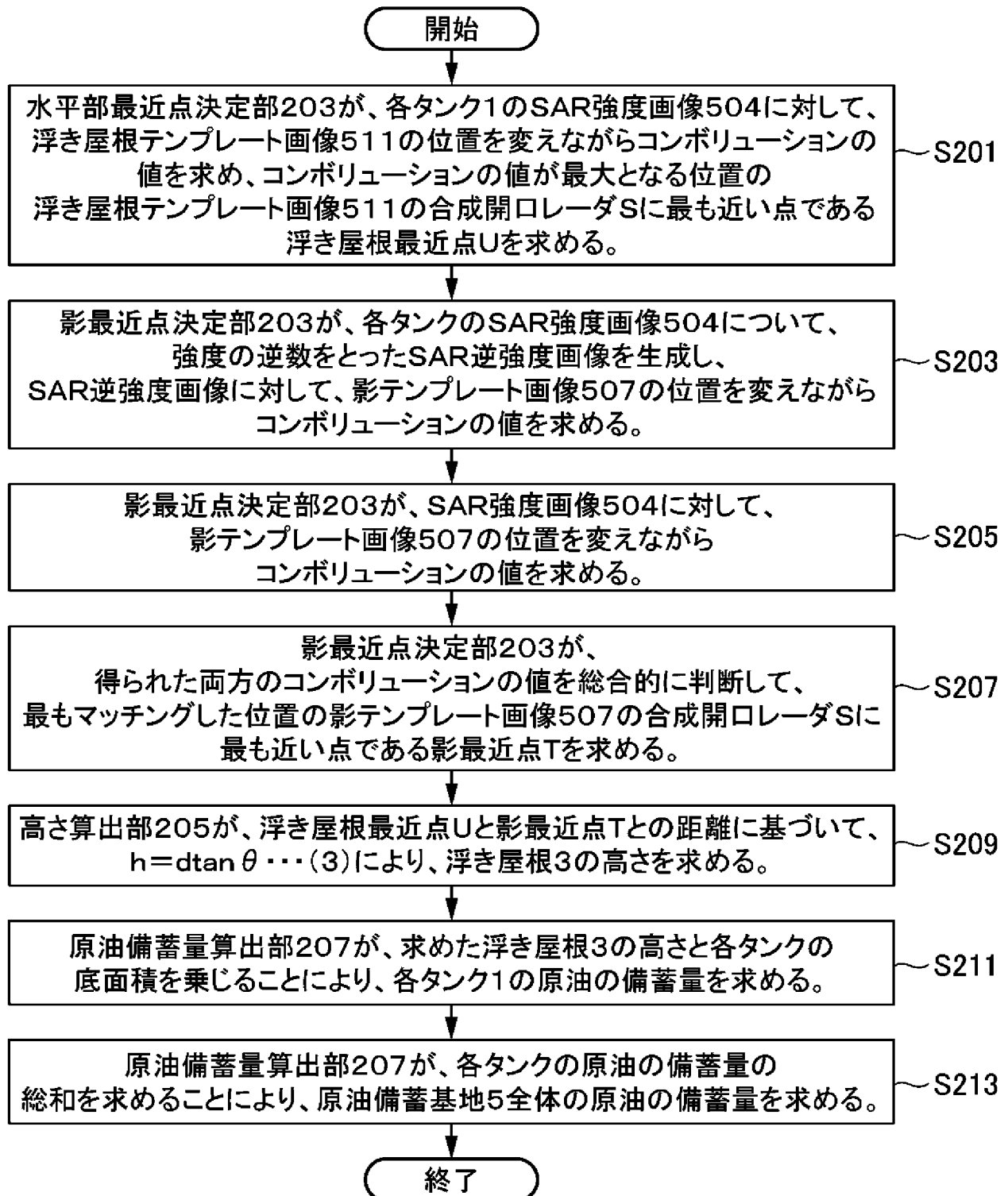
[図18]

FIG.18



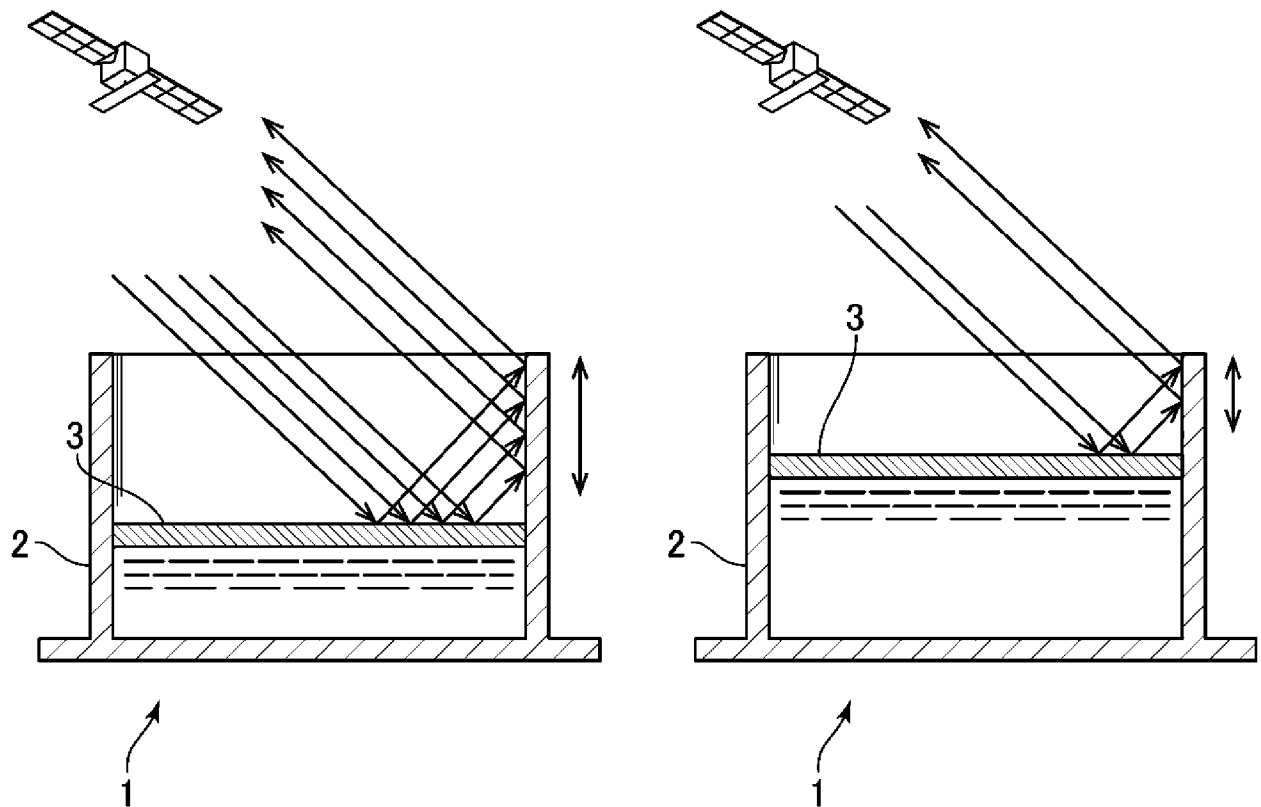
[図19]

FIG.19



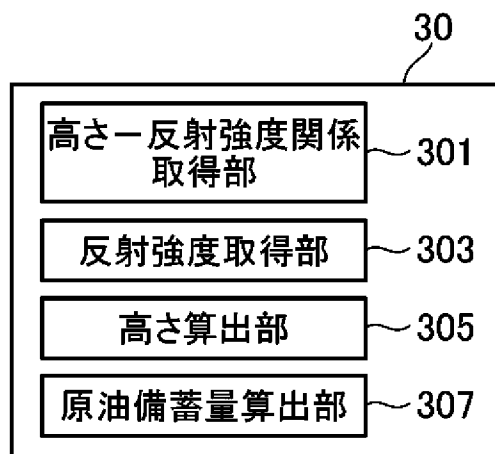
[図20]

FIG.20



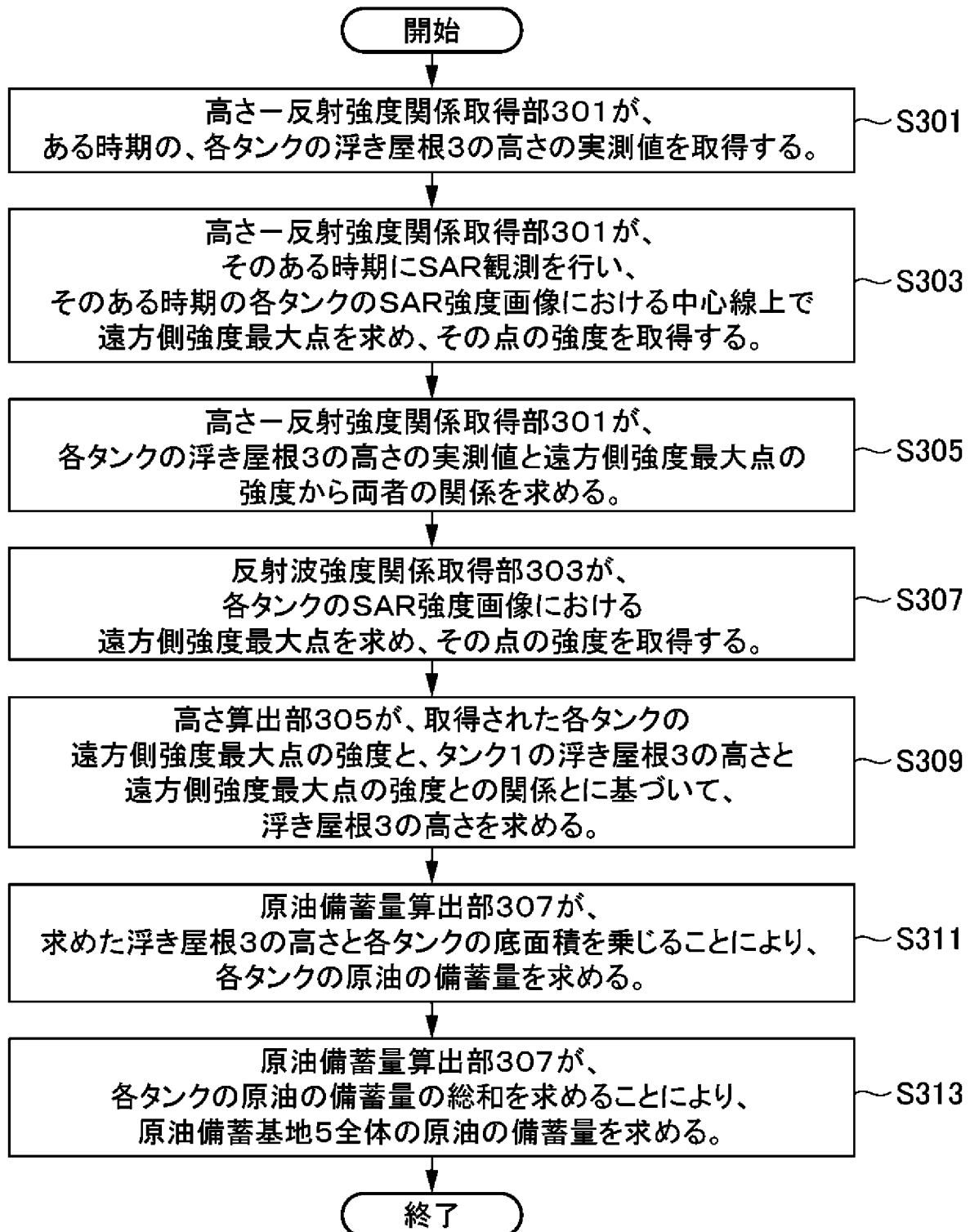
[図21]

FIG.21



[図22]

FIG.22



[図23]

FIG.23

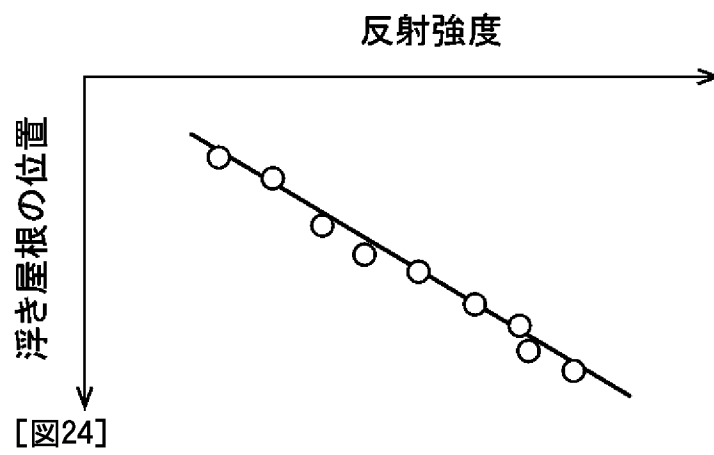
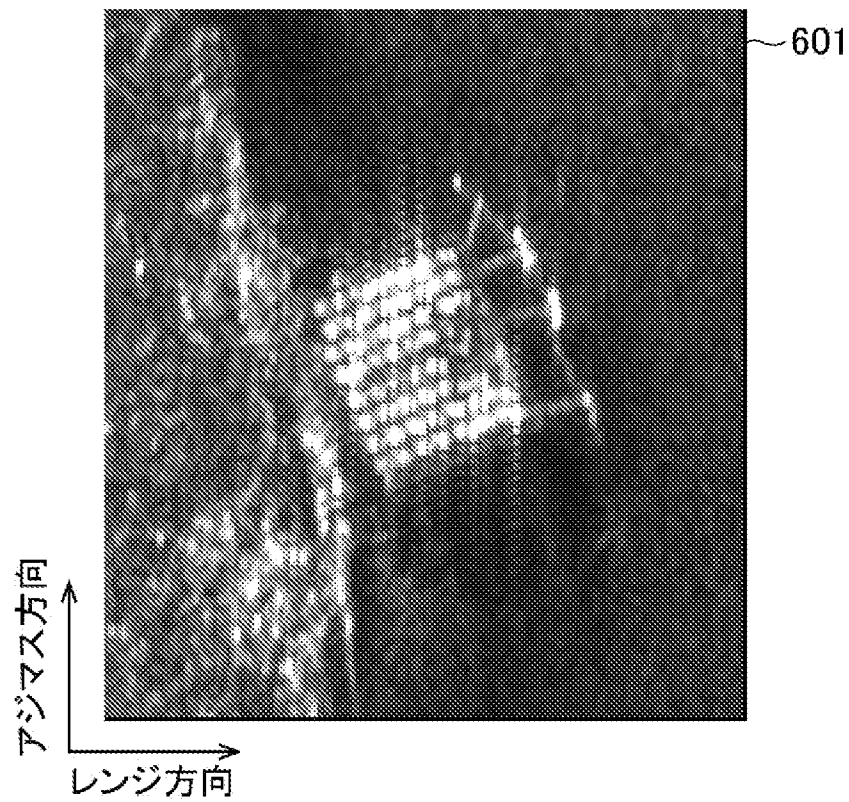
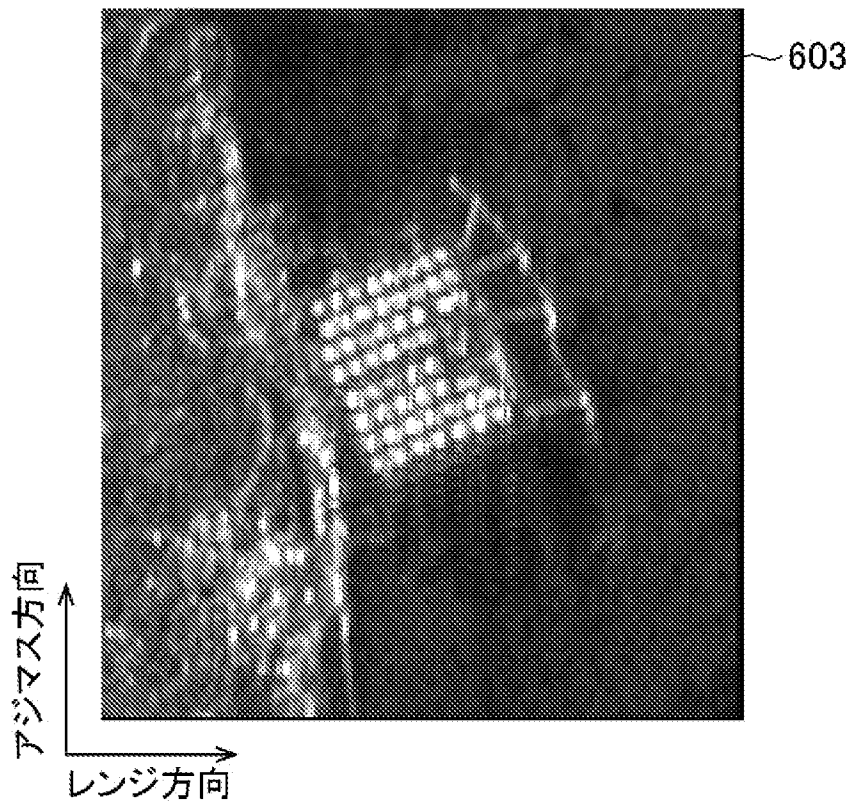


FIG.24



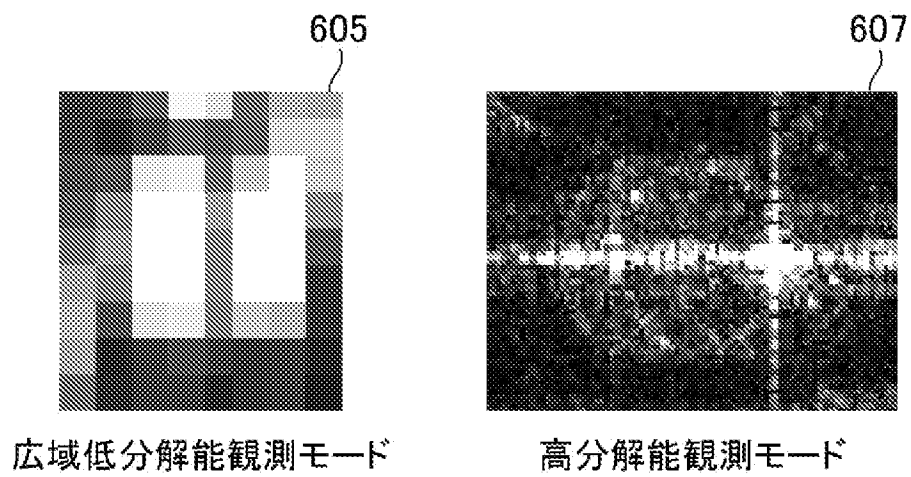
[図25]

FIG.25



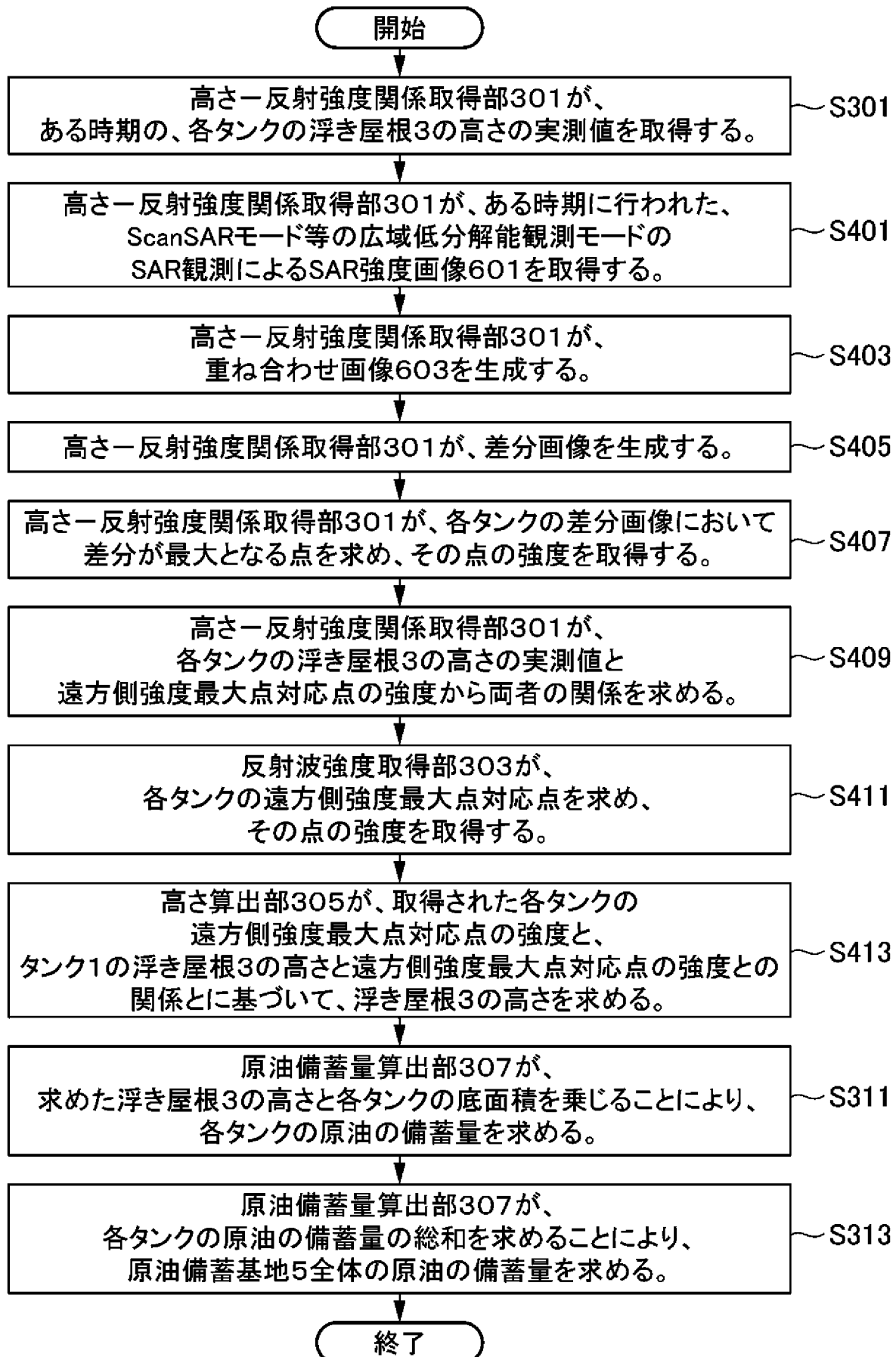
[図26]

FIG.26



[図27]

FIG.27



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/042302

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G01S13/90 (2006.01) i, G01F23/284 (2006.01) i, G06T7/00 (2017.01) i,  
G06T7/70 (2017.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. G01S7/00-G01S7/42, G01S13/00-G01S13/95, G01F23/284, G06T7/00-  
G06T7/90

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

|                                                          |           |
|----------------------------------------------------------|-----------|
| Published examined utility model applications of Japan   | 1922-1996 |
| Published unexamined utility model applications of Japan | 1971-2019 |
| Registered utility model specifications of Japan         | 1996-2019 |
| Published registered utility model applications of Japan | 1994-2019 |

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category*     | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                                                 | Relevant to claim No.                      |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <u>X</u><br>A | US 4184155 A (THE UNITED STATES OF AMERICA AS REPRESENTED BY THE ADMINISTRATOR OF THE NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION) 15 January 1980, column 1, line 51 to column 4, line 38, claims 1-11, fig. 1-5 (Family: none) | <u>13, 17, 19-20</u><br>1-12, 14-16,<br>18 |
| A             | JP 2016-057092 A (NATIONAL INSTITUTE OF INFORMATION AND COMMUNICATIONS TECHNOLOGY) 21 April 2016, whole document (Family: none)                                                                                                    | 1-20                                       |
| A             | US 5053778 A (THE UNITED STATES OF AMERICA AS REPRESENTED BY THE ADMINISTRATOR OF THE NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION) 01 October 1991, whole document (Family: none)                                                | 1-20                                       |



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
30 January 2019 (30.01.2019)

Date of mailing of the international search report  
12 February 2019 (12.02.2019)

Name and mailing address of the ISA/  
Japan Patent Office  
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,  
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2018/042302

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                             | Relevant to claim No. |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | US 2016/0343124 A1 (GENSCAPE INTANGIBLE HOLDING, INC.) 24 November 2016, whole document & WO 2016/187376 A1 & EP 3298574 A1 & CA 2985814 A1 & CN 107636718 A & MX 2017014748 A | 1-20                  |

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01S 13/90(2006.01)i, G01F 23/284(2006.01)i, G06T 7/00(2017.01)i, G06T 7/70(2017.01)i

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01S 7/00 - G01S 7/42, G01S 13/00 - G01S 13/95, G01F 23/284, G06T 7/00 - G06T 7/90

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

|             |            |
|-------------|------------|
| 日本国実用新案公報   | 1922-1996年 |
| 日本国公開実用新案公報 | 1971-2019年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1996-2019年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1994-2019年 |

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の<br>カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示                                                                                                                                                            | 関連する<br>請求項の番号                   |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| X<br>A          | US 4184155 A (THE UNITED STATES OF AMERICA AS REPRESENTED BY THE ADMINISTRATOR OF THE NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION) 1980.01.15<br>*第1欄第51行-第4欄第38行、請求項1-11及び図1-5* (ファミリーなし) | 13, 17, 19-20<br>1-12, 14-16, 18 |
| A               | JP 2016-057092 A (国立研究開発法人情報通信研究機構) 2016.04.21<br>*Whole Document* (ファミリーなし)                                                                                                                 | 1-20                             |
| A               | US 5053778 A (THE UNITED STATES OF AMERICA AS REPRESENTED BY THE ADMINISTRATOR OF THE NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION) 1991.10.01                                              | 1-20                             |

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

30.01.2019

国際調査報告の発送日

12.02.2019

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

山下 雅人

2 S

7 8 5 7

電話番号 03-3581-1101 内線 3216

| C (続き) . 関連すると認められる文献 |                                                                                                                                                                                                                                                             |                |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 引用文献の<br>カテゴリー*       | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示                                                                                                                                                                                                                           | 関連する<br>請求項の番号 |
| A                     | <p>*Whole Document* (ファミリーなし)</p> <p>US 2016/0343124 A1 (GENSCAPE INTANGIBLE HOLDING, INC.) 2016.11.24</p> <p>*Whole Document*</p> <p>&amp; WO 2016/187376 A1 &amp; EP 3298574 A1 &amp; CA 2985814 A1 &amp; CN 107636718 A</p> <p>&amp; MX 2017014748 A</p> | 1-20           |